

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“COMPORTAMIENTO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PARA TRATAR
EL EFLUENTE DE SÉPTICOS EN UN AUTOMOTEL UBICADO EN EL
MUNICIPIO BOLÍVAR DEL ESTADO ANZOÁTEGUI”.**

Realizado por:

WILLMAN RAFAEL BRITO LÁREZ

CARLOS DE JESÚS RAMOS BRITO

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial
para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Barcelona, Agosto 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“COMPORTAMIENTO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PARA TRATAR
EL EFLUENTE DE SÉPTICOS EN UN AUTOMOTEL UBICADO EN EL
MUNICIPIO BOLÍVAR DEL ESTADO ANZOÁTEGUI”.**

JURADO CALIFICADOR

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Prof. Ana Ghanem
Asesor Académico

Prof. Belkis Sebastiani
Jurado Principal

Prof. María Ramírez
Jurado Principal

Barcelona, Agosto 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“COMPORTAMIENTO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PARA TRATAR
EL EFLUENTE DE SÉPTICOS EN UN AUTOMOTEL UBICADO EN EL
MUNICIPIO BOLÍVAR DEL ESTADO ANZOÁTEGUI”.**

Realizado por:

WILLMAN RAFAEL BRITO LÁREZ

CARLOS DE JESÚS RAMOS BRITO

Barcelona, Agosto 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al **artículo 41** del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios Padre por haberme dado la oportunidad de estudiar y con su inefable amor me mantuvo perseverante para culminar este camino.

A mis padres, Carlos y Evilia por todo su amor incondicional y sacrificio constante durante largos años.

A mis tíos, mis segundos padres, Herminio y Yolanda por el amor y apoyo que me brindaron a lo largo de mis estudios.

A mi hermana, primos y a Margarita Sánchez, por su apoyo, consejos y ayudas.

A mis amigos de bachillerato, Laurinel, Francisco, Jhayber, Ana María, entre muchos otros, por su amistad y por siempre estar presentes.

A mis amigos y compañeros de clases, Fadia, Willman, Jesús V, Jesús Y. Melissa, Eddy, Elenitza, Fabiana, Luis el morocho, Roselys, Oly, Vicky, Roselyn, Iris, entre muchos otros, que compartimos momentos de alegría y tristeza desde el inicio hasta el fin de mi carrera, realmente los aprecio mucho por haberme aportado un grano de arena en este largo recorrido, esto es para ustedes también.

Carlos Ramos

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de grado principalmente a DIOS, por haberme dado la fuerza y el ánimo durante toda mi carrera, por haberme demostrado cada momento que con él contaba. Gracias Dios, todo lo que soy y todo lo que seré sé que es gracias a ti.

A mis padres Wilman y Norellys, por haber hecho de mi el hombre que soy y por estar a mi lado en todo momento, por su comprensión, entrega y amor, esto es un regalo para ustedes.

A mi hermano Arístides, por haber estado conmigo siempre y por ayudarme en todo momento, porque aun siendo menor eres un ejemplo a seguir para mí, por luchar día a día por ser alguien.

A mi abuela Regina, por haberme regalado ese cariño y alegría que solo tú sabes llevar, has estado siempre presente en mi vida.

A mi tío Luis Lárez, por haber sido la primera persona que me mostro apoyo en este trabajo, con todo su ingenio y sus buenas ideas.

A mis abuelos Pedro Brito y Pura Cedeño, que aunque no estén en están aquí siempre estuvieron orgullosos de mi, siempre los recordare de una forma especial.

A mis amigos de siempre Antonio Guerra y Giovanni González, por haberme brindado apoyo y buenos consejos siempre que los necesite y por haber estado presente en cada una de mis metas logradas.

A mi novia Andreina Matute, por haber llegado a mi vida justo cuando más lo necesitaba y por haberme regalado tu compañía, tu paciencia y tus cosas bonitas durante este trabajo, te adoro y te amo bonita.

A mis demás familiares, por su interés por su ayuda y por sus buenos deseos durante toda mi carrera.

A mis amigas y amigos por todo su apoyo durante todo este tiempo, sin ustedes no lo hubiera logrado

A Carlos Ramos, por haberme sabido tener paciencia durante todo este tiempo y por haberme considerado a la hora de comenzar este largo camino. Gracias.

Willman Brito

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la esperanza que me mueve y el amor que me da felicidad.

A mis padres, Carlos y Evilia por su amor, comprensión y paciencia.

A mis tíos, Hermino y Yolanda por su gran apoyo.

A mi hermana, por sus ánimos.

A mis amigos y compañeros, por todas sus ayudas.

A Willman por su amistad y apoyo en la realización de este trabajo.

A mi Universidad y todos mis profesores por todo el conocimiento impartido durante mi formación académica.

Carlos Ramos

Agradezco a Dios por ser mi guía en todo momento.

A mis padres, Wilman y Norellys por su comprensión, amor y entrega total hacia mí.

A mi hermano, por ser mi mejor amigo y por estar siempre a mi lado.

A mis amigos y compañeros, por todas sus ayudas.

A Carlos Ramos por haber confiado en mí en todo momento, por su paciencia y esmero.

A mi novia, Andreina por regalarme su amor, apoyo, cariño y un montón de bonitos momentos cuando más lo necesite.

A mis amigos y familiares por haber tenido fé en mi y por sentirse orgullosos de mis logros.

Willman Brito

Agradecimientos Especiales por toda la colaboración y apoyo prestado:

A nuestra asesora, la profesora Ana Ghanem, T.S.U Petra Rodríguez, al Ing. Willman Brito, al Señor José Gonzales, al Señor José Farifas y al Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Oriente

RESUMEN

En esta investigación se realizó la evaluación de un humedal construido que trata el efluente de pozos sépticos, ubicado dentro de las instalaciones del Automotel New, el cual está situado en la vía de Pele el Ojo municipio Simón Bolívar del estado Anzoátegui, con la finalidad de determinar su funcionamiento. Para ello se realizó un muestreo durante un lapso de ocho (8) semanas, tomando muestras semanales, en el afluente y el efluente del humedal. Se midieron valores in situ de pH y temperatura y en el laboratorio se determinaron valores de DBO, DQO, SST, SSV, NT, PT, Coliformes Totales y Fecales. El efluente del sistema de tratamiento presentó los siguientes parámetros físico-químicos y bacteriológicos: 7 para pH; 43,88 mg/l para la DQO; 23,30 mg/l para la DBO; 2,61 mg/l para el fósforo; 23,75 para el nitrógeno total; 5,49 mg/l para SST y Coliformes totales de 576,50 NMP/100 ml, los cuales se encuentran por debajo del límite permisible establecido por la norma venezolana vigente (Decreto 883 de la Gaceta Oficial # 5021). La evaluación arrojó como resultado, que el humedal reduce un 57,88 % de los contaminantes del agua residual proveniente de los pozos sépticos.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VIII
RESUMEN	IX
ÍNDICE GENERAL	X
CAPÍTULO I	16
1.INTRODUCCIÓN	16
1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
CAPÍTULO II	21
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	21
2.1 ANTECEDENTES.....	21
2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	25
2.3 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	27
2.3.1 Sólidos totales.....	27
2.3.2 Temperatura	30
2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	32
2.4.1 Materia orgánica	32

2.4.1.1 Medida del contenido orgánico	34
2.4.1.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	34
2.4.1.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO).....	38
2.4.1.1.3 Carbono orgánico total (COT).....	39
2.4.2 Materia inorgánica	40
2.4.2.1 pH	41
2.4.2.2 Nitrógeno	42
2.4.2.3 Fósforo.....	45
2.4.3 Gases.....	45
2.5 CARACTERISTICAS BIOLOGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	46
2.5.1 Microorganismos presentes en las aguas residuales	47
2.5.2 Organismos patógenos	48
2.5.3 Uso de organismos indicadores.....	48
2.5.4 Métodos empleados para determinar los organismos indicadores	49
2.5.4.1 Método de fermentación de tubos múltiples.....	49
2.5.4.2 Técnica de filtro de membrana.....	52
2.6 ESTUDIOS DE CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL.....	53
2.6.1 Muestreo	53
2.6.1.1 Muestra simple.....	55
2.6.1.2 Muestra compuesta	55
2.6.2 Unidades de medida para parámetros físicos y químicos.....	56
2.7 CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	56
2.7.1 Origen y caudales de las aguas residuales domésticas	57
2.7.2 Agua residual de origen industrial.....	58
2.7.3 Infiltración y aportaciones incontroladas	58
2.8 MEDIDORES DE CAUDAL.....	60

2.9 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES	60
2.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	62
2.11 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	67
2.11.1 Pre – tratamiento	68
2.11.2 Tratamiento primario.....	69
2.11.3 Tratamiento secundario	70
2.12 REQUISITOS DE TRATAMIENTO	71
2.12.1 Cargas contaminantes	72
2.13 TANQUES SÉPTICO	73
2.13.1 Capacidad del tanque séptico.....	74
2.13.2 Descripción	75
2.13.3 Materiales en construcción	75
2.13.4 Funcionamiento y operación.....	76
2.14. HUMEDALES.....	77
2.14.1 Humedales de flujo subsuperficial	78
2.14.2 Componentes del humedal	80
2.14.3 El agua.....	81
2.14.4 Substratos, Sedimentos y Restos de vegetación.....	82
2.14.5 Vegetación	83
2.14.6 Microorganismos.....	87
2.14.7 Animales	89
2.14.8 Realce de la estética y paisaje.....	89
2.14.9 Consideraciones ambientales y de salud pública	90
2.14.10 Trazas orgánicas	96
2.14.11 Rendimiento esperado.....	97
2.14.12 Remoción de DBO	98

2.14.13 Remoción de sólidos suspendidos.....	99
2.14.14 Remoción de nitrógeno.....	100
2.14.15.1 Remoción de fósforo.....	104
2.14.15.2 Remoción de metales.....	105
2.14.15.3 Remoción de coliformes fecales.....	106
2.14.16 Operación, mantenimiento y control.....	106
2.14.16.1 Operación y Mantenimiento.....	106
2.14.16.2 Hidrología.....	107
2.14.16.3 Estructuras.....	107
2.14.16.4 Vegetación.....	108
2.14.16.5 Ratas.....	108
2.14.16.6 Mosquitos.....	109
2.14.16.7 Control.....	109
2.14.16.8 Control para cumplir exigencias de descarga.....	110
2.14.16.9 Control del rendimiento del sistema.....	111
2.14.16.10 Control de la salud del humedal.....	112
2.14.16.11 Ventajas.....	113
2.14.16.12 Limitaciones.....	114
CAPÍTULO III.....	115
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EN ESTUDIO.....	115
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS.....	115
3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL HUMDEDAL.....	119
3.3 SITUACION ACTUAL DEL HUMEDAL.....	121
CAPÍTULO IV.....	122
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	122
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN....	122

4.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN LA ENTRADA DEL HUMEDAL.	123
4.3 DISEÑO PARA EL PLAN DE MUESTREO PARA LA MEDICION DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS.....	124
4.3 PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO	128
4.3.1 Captación, manejo y preservación de muestras de aguas residuales	128
4.4 ENSAYOS DE LABORATORIO	130
4.4.1. Demanda Química de Oxigeno (DQO) (SM 5220 B)	130
4.4.2 Demanda Bioquímica de Oxigeno a los 5 días (DBO ₅) (SM-5210)...	134
4.4.3 Fósforo Total (PT) (SM 4500 P- D)	143
4.4.4 Nitrógeno Total (Kjeldahl) (4500-N _{org.} B)	149
4.4.5 Nitratos (SM 4500-NO ₃ . B).....	153
4.4.6 Nitritos.....	157
4.4.7 Coliformes Totales y Fecales (CT y CF) (SM 9221)	159
4.4.8 Sólidos Suspendidos Totales (SM-2540.D)	168
4.4.9 Turbidez	170
4.4.10 Temperatura	175
CAPÍTULO V	177
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	177
5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	177
5.2 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS	178
5.3 COMPARACION DE LOS RESULTADOS CON0 LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	185
5.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	186
5.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE PLANTAS EXISTENTES EN EL HUMEDAL.....	187

CAPÍTULO VI.....	193
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
6.1 CONCLUSIONES	193
6.2 RECOMENDACIONES.....	196
BIBLIOGRAFÍA.....	197
GLOSARIO DE TERMINOS BÁSICOS	201

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estado Anzoátegui se localiza en el oriente del país, entre las coordenadas 07° 40' 16", 10° 15' 36" de latitud Norte y 62° 41' 05", 65° 43' 09" de longitud Oeste, limita al Norte con el Mar Caribe, al Este con los Estados Sucre y Monagas, al Oeste con los Estados Guárico y Miranda y al Sur con el río Orinoco, que lo separa del estado Bolívar.

La capital del estado es Barcelona; fundada en 1671 por Sancho Fernández de Angulo y, Fray Manuel de Yangués. La ciudad pertenece al municipio Simón Bolívar. Está ubicada a orillas del río Neverí, a 3 km del mar Caribe y a 13 m.s.n.m. Ocupa una superficie de 43.300 Km², que representa el 4.7 % del territorio nacional siendo el séptimo estado con mayor superficie del país.

El Municipio Simón Bolívar del Estado Anzoátegui es el más poblado de la entidad siendo su capital la también capital del estado, Barcelona. Tiene una superficie de 1.706 km² y una población de 428.391 habitantes (censo 2001) (Ver Figura 1.1)

El Automotel New se encuentra ubicado al margen izquierdo de la Vía Alternativa (*Argimiro Gabaldón*) en Barcelona, en el Sector Pele el Ojo, en un lote de terreno de 20.078,50 m².

Está comprendido dentro de los siguientes linderos:

Norte, Sur, Este: Terrenos Propiedad de Manuel Vieiros.

Oeste: Carretera que conduce a Naricual.



Figura 1.1 Ubicación en planta del Automotel New. Fuente: Google Earth

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el año 2005, en las instalaciones del Automotel New (ubicado en la vía de Pele el Ojo municipio Bolívar del estado Anzoátegui) se descargaban las aguas servidas en un sistema de tratamiento constituido básicamente por dos pozos sépticos. Según mediciones realizadas en sitio, se determinó que el tratamiento realizado en los sépticos no era lo suficientemente eficiente como para garantizar un efluente que cumpliera con

la calidad mínima según normativa establecida por el MARN, para descargar en un cuerpo de agua.

Para tratar el efluente de los sépticos, en el año 2006, se construyó un Sistema de Flujo Sub-Superficial, llamado también Humedal Construido. Este sistema es mundialmente utilizado para el tratamiento de efluentes tanto a nivel domiciliario como industrial. En dichos sistemas el efluente circula por dentro de una fosa rellena de piedras (5-10 cm de diámetro aproximadamente) donde se implantan macrófitas del tipo emergente. Estos sistemas plantean que por su circulación subsuperficial, impiden el contacto del efluente con los seres humanos, evitando el riesgo de propagación de enfermedades de origen hídrico (cólera, hepatitis, dengue, entre otras). La tecnología de Humedales Construidos es destacada por su buen rendimiento en el tratamiento secundario y terciario de diversos efluentes cloacales, en la eficiencia de este sistema se señala en la literatura una remoción de bacterias mayores a 90 %.

En todo el tiempo que tiene construido el humedal se ha realizado únicamente una prueba al efluente, esta prueba arrojó un buen resultado en todos los parámetros excepto en cuanto a la cantidad de coliformes, ya que se encontraron por encima de los niveles estipulados en la norma venezolana. Debido a que este humedal tiene cuatro años de construido y no se le ha realizado de manera frecuente un seguimiento para constatar la eficiencia del tratamiento de la calidad del efluente, es necesario realizar una evaluación de dicho sistema de tratamiento, a través, de una serie de tomas de muestras en el humedal con sus respectivos ensayos de laboratorio, tomando en cuenta los parámetros físicos, químicos y biológicos más representativos, por un período determinado y así evaluar su actual funcionamiento.

Actualmente el humedal no cuenta con la variedad, ni la cantidad de plantas con la que inicialmente fue proyectado antes de su construcción, se presume que debido a estas faltas que el humedal presenta se obtuvieron valores de coliformes no deseados.

Para la evaluación es necesario la aplicación de técnicas y / o ensayos de laboratorios que permitan determinar estos parámetros (agentes contaminantes), existentes en el agua residual a ser tratada, es decir se realiza una caracterización de las aguas residuales. Dentro de ellos los más importantes y los cuales serán determinados en el laboratorio son: Sólidos Suspendidos Totales (SST), Fósforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Totales y Coliformes Fecales, pH, temperatura (T), Salinidad, Conductibilidad (K) y Turbiedad.

Una vez realizada la evaluación se procede a analizar los resultados obtenidos en el laboratorio y plantear posibles mejoras o recomendaciones para garantizar un buen funcionamiento del sistema de tratamiento de flujo subsuperficial.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de un humedal construido para el tratamiento del efluente de sépticos en un Automotel ubicado en el Municipio Bolívar del Estado Anzoátegui.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.) Examinar el área de estudio a través de visitas y recorrido de la zona.

2.) Estimar los aportes de aguas servidas.

3.) Elaborar un programa de muestreo de las aguas afluentes y efluentes del sistema de tratamiento.

4.) Recolectar las muestras para la determinación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de las aguas, mediante ensayos de laboratorio.

5.) Identificar todas las especies de plantas existentes en el humedal.

6.) Analizar los resultados obtenidos.

7.) Proponer soluciones necesarias para el mejoramiento del sistema.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ANTECEDENTES

En Venezuela, los humedales construidos como sistemas de tratamiento de aguas servidas son poco utilizados, sin embargo; en el Parque Metropolitano de Punto Fijo, estado Falcón se construyó el Humedal más grande de Venezuela que recibe 300.000 litros de agua residuales diarios que se regeneran y reutilizan en el riego de dicho parque ^[1].

Zúñiga, en el año 2002, presentó un trabajo donde evaluó el proceso de depuración de aguas residuales municipales mediante humedales construidos de flujo subsuperficial con alimentación horizontal, para una zona de clima mediterráneo en Chile. Se construyeron seis humedales a escala piloto, cada uno con un área de 2 m² y 0,6 m de profundidad. Los humedales se diseñaron con el fin de evaluar el efecto de dos macrófitas (*Scirpus* y *Typha Latifolia*) y del tamaño del soporte, grava y gravilla, con un diámetro de 2,8 y 1,2 cm, respectivamente, sobre la remoción de materias orgánicas y nutrientes. La alimentación se realizó con agua residual doméstica sin pretratamiento ^[2].

Varela, en el año 2007 publicó un trabajo que se centró en la investigación del tratamiento de las aguas residuales, para ello comenzó con una descripción de sus orígenes y distintos tipos de procedencia en función del uso que puedan haber tenido las mismas. Los estudios iniciales se dividen en dos partes, por un lado definir el funcionamiento de las Estaciones

Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR's) y por el otro los Sistemas de Humedales Construidos (SHC). Para la realización del estudio sobre las EDAR's, se identificó el tipo de tratamientos que se llevaron a cabo en las mismas, dando paso a los tipos de procesos de los que dispone la depuradora de Granollers (Cataluña – España), así como la evaluación de un costo del agua depurada. Posteriormente se estudiaron los SHC, determinando los diferentes tipos existentes, metodologías de regeneración de los mismos y parámetros mínimos de calidad para los diferentes tipos de aguas regeneradas ^[3].

En el año 2001 Martínez, publicó un trabajo que se enfocó en el diseño y evaluación de la eficiencia de un humedal empleando junco y lirio acuático. El agua que se obtuvo cumplió con los requerimientos para el riego agrícola debido a la disminución de la cantidad de sales, calcio, cloruros, nitratos, nitritos, amonio y la concentración de microorganismos patógenos, de tal modo que su empleo fue de gran potencial para los sistemas agrícolas ^[4].

En la Universidad de Pennsylvania en 1976, se realizó la primera conferencia internacional sobre el control biológico de aguas residuales, en ella se establecieron los primeros conceptos sobre el uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Se presentaron los primeros trabajos realizados con *Eichhornia crassipes*, en los laboratorios Nacionales de Tecnología Espacial (National Space Technology Laboratories, (NSTL)) de la NASA. El rápido desarrollo de la tecnología llevó a la realización de la conferencia en sistemas acuáticos para el tratamiento de las aguas de desecho. Desde esta conferencia han sido muchos los trabajos reportados sobre el tema. La NASA ha sido un líder en la investigación sistemática y el desarrollo de los sistemas acuáticos debido a la importancia de los mismos llamados sistemas de

apoyo de vida ecológica (Controlled Ecological Life Support System (CELSS)) y su aplicación en la tecnología espacial para hacer posible la reutilización de las aguas residuales en estaciones espaciales^[5].

Una de las plantas más estudiadas es *E. crassipes*. Esta especie es una de las más exitosas colonizadoras en el reino vegetal. Esta planta flotante libre se ha dispersado desde Sudamérica tropical hasta al menos 50 países alrededor del mundo. Wolverton y McDonald (1979) comentan que expositores japoneses que viajaron a New Orleans, Louisiana, en 1884 para una exhibición, llevaron consigo plantas de *E. crassipes* debido a su belleza de sus flores color lavanda. Ellos colectaron las plantas del Río Orinoco en Venezuela y las plantas fueron entregadas en la exposición como souvenir. El problema con esta especie en los Estados Unidos comenzó cuando muchos de estos souvenirs fueron arrojados en canales de drenaje, pantanos y arroyos. Favorecida por el clima y debido a la escasez de insectos, virus y otros enemigos naturales que normalmente la controlan en su ambiente original, esta planta creció explosivamente. El gesto inocente de los expositores japoneses creó un problema persistente que cuesta a los Estados Unidos millones de dólares al año para controlar a esta especie considerada plaga. Sin embargo, años más tarde la NASA cambió la imagen de *E. crassipes* de plaga a potencial depuradora de contaminantes, utilizándola en tratamiento de efluentes.

El primer sistema operativo de tratamiento de aguas residuales domésticas con esta especie fue instalado en el Laboratorio de Tecnología y Sistemas de Navegación (Navigation Systems & Technology Laboratory (NSTL)) en 1976. El primer sistema operativo para el tratamiento de aguas residuales de laboratorios fotográficos y químicos fue en 1975, también en los Laboratorios de Tecnología y de Sistemas de Navegación (Navigation

Systems & Technology Laboratory (NSTL)). Este último funcionó muy bien por 11 años y luego fue extendido con un filtro rocoso con plantas arraigadas (*Phragmites communis Trin*, y *Typha latifolia L.*). En 1979, un proyecto conjunto entre los Laboratorio de Tecnología y Sistemas de Navegación (Navigation Systems & Technology Laboratory (NSTL)), Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency (EPA)) y el Distrito de mejora de Coral Springs en Florida (Coral Springs Improvement District), dio lugar a una planta de tratamiento para aguas domesticas de Disney World en Orlando, Florida, Estados Unidos. El sistema que se tenga noticia es el implantado en San Diego, California. Fue instalado en 1984 para la obtención de agua potable a partir de aguas residuales urbanas.

Beining y Otte en los años 1996 y 1997 encontraron que las concentraciones de Zn, As, Pb y Cd disminuyeron en un efluente de escorrentía de una mina al atravesar un humedal natural en Irlanda. Para el Zn la retención fue del 95% y para el As del 65%.

Vesk y Allaway en el año 1997 informaron que las concentraciones de Cu y Pb en tejidos de *E. crassipes* disminuyeron exponencialmente con el incremento de la distancia a la descarga del efluente en un humedal construido en Sydney, Australia ^[5].

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora^[6].

Las características de un agua residual pueden obtenerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico; sin embargo, vale la pena anotar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. En general, un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben analizar.

Aunque en la práctica, existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son muy importantes como referencia de los parámetros de importancia por analizar y de su magnitud, hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de polución deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica.

La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por lo que las cargas equivalentes o

contribuciones per cápita por día varían de una ciudad a otra y de un país a otro. Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.

Cuando la infiltración es alta o existen conexiones de aguas de lluvia, el régimen de lluvias puede influir notablemente sobre el caudal y, por ende, sobre las características del agua residual. El conocimiento de las cargas hidráulicas, de DBO y otros contaminantes, es esencial para evaluar los factores de diseño y operación de una planta de tratamiento. Generalmente las variaciones de DBO siguen las de caudal, pero deben determinarse en cada caso particular.

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad. El hombre arroja diariamente, en sus excrementos, entre 10^9 y 4×10^{11} coliformes; por tanto, su presencia puede detectarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario.

En las tablas J.1 a J.3 del anexo J, se presentan, en forma muy breve y generalizada, los efectos más importantes de los principales agentes de polución de las aguas residuales.

2.3 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos (termino que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta), la temperatura, la densidad, el olor, el color, la turbiedad y la transmitancia/absorbancia.

2.3.1 Sólidos totales

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar los sólidos de la muestra. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se definen a continuación ^[7]:

Sólidos totales (ST). Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C).

Sólidos volátiles totales (SVT). Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 ± 50 °C).

Sólidos fijos totales (SFT). Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50 °C).

Sólidos suspendidos totales (SST). Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro más usado para la

determinación de SST es el filtro Whatman de fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximadamente 1,58 μm .

Sólidos suspendidos volátiles (SSV). Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C).

Sólidos suspendidos fijos (SSF). Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50 °C).

Sólidos disueltos totales (SDT). Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño de 0,001 a 1 μm .

Sólidos disueltos volátiles (SDV). Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 ± 50 °C).

Sólidos disueltos fijos (SDF). Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 ± 50 °C).

Sólidos sedimentables. Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentan por fuera de la suspensión dentro de un periodo específico.

La Figura 2.1 muestra en forma esquemática el contenido de sólidos en un agua residual.

Se presume que los sólidos volátiles (SV) representan la materia orgánica. A la temperatura de 500 ± 50 °C la fracción orgánica se oxida y desaparece en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se empleen los términos “Sólidos Volátiles” y “Sólidos Fijos” para hacer referencia, respectivamente, a los componentes orgánicos e inorgánicos (o minerales) de los sólidos en suspensión. A la temperatura de 500 ± 50 °C, la descomposición de sales inorgánicas se limita al caso del carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y dióxido de carbono al alcanzar la temperatura de 350 °C. El análisis de los sólidos volátiles se emplea habitualmente para determinar la estabilidad biológica de los lodos de aguas residuales.

Para obtener los sólidos suspendidos totales se filtra la muestra a través de papel filtro y su contenido se calcula mediante la **ecuación 2.1**:

$$SST = \frac{(B - A) \times 1000}{D} \quad (2.1)$$

Donde:

SST = Sólidos Suspendidos Totales en [mg/L]

B = Peso filtro + Capsula + Sólido [mg] (Temperatura = 105 °C)

A = Peso filtro + Capsula [mg] (Temperatura ambiente)

D = Volumen de muestra [L]

$$SSV = \frac{(B-C)}{D} \quad (2.2)$$

Donde:

SSV = Sólidos Suspendidos Volátiles en [mg/L]

B = Peso filtro + Capsula + Solido [mg] (Temperatura = 105 °C)

C = Peso filtro + Capsula + Solido [mg] (Temperatura = 550 °C)

D = Volumen de muestra [L]

En forma similar los sólidos disueltos totales (SDT) también están compuestos de sólidos fijos y sólidos volátiles. La prueba estandarizada para determinar los sólidos sedimentables consiste en colocar una muestra de agua residual en un cono Imhoff de 1 L y anotar el volumen de sólidos en mililitros que sedimenta después de un periodo de tiempo específico (1 h). Generalmente, cerca del 60 % del total de sólidos suspendidos en aguas residuales municipales son sedimentables. La interrelación entre estas fracciones se ilustra en la figura 2, una primera etapa de filtración separa los sólidos suspendidos totales (SST) de los sólidos totales (ST).

2.3.2 Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las

temperaturas registradas en las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores que ella durante los meses más calurosos de verano.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente del agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses del verano.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y 35 °C. A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5 °C. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2 °C, incluso las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar ^[8].

2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes tres puntos: la materia orgánica, la materia inorgánica, y los gases presentes en el agua residual.

2.4.1 Materia orgánica

Cerca del 75 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40 a 60 %), hidratos de carbono (25 a 50 %), y grasas y aceite (10 %). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy calientes ^[7]. Estos grupos se muestran a continuación:

Proteínas. Las proteínas son los principales componentes del organismo animal. Están presentes en todos los alimentos de origen animal o vegetal cuando estos están crudos. Todas las proteínas contienen carbono, hidrógeno y nitrógeno. La urea y las proteínas son los principales

responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en un agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.

Hidratos de carbono. Incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual. Los hidratos de carbono contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Los azúcares tienden a descomponerse, mientras los almidones, por otro lado, son más estables, pero se convierten en azúcares por la actividad bacteriana así como por la acción de ácidos minerales diluidos. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia de la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono cuya presencia en el agua residual es más importante.

Grasas, grasas animales y aceites. El término grasa, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. El contenido de grasa se determina por extracción de la muestra con triclorotrifluoroetano, debido a que la grasa es soluble en él. Las grasas aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina aceites y grasas vegetales. Las grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas. Si no se elimina el contenido de grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materias flotantes desagradables.

Agentes Tensoactivos. Son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Durante el proceso de aireación del agua residual se concentran en la superficie de las burbujas de aire

creando una espuma muy estable. La determinación de la presencia de elementos tensoactivos se realiza analizando el cambio de color de una muestra normalizada de azul de metileno ^[8].

2.4.1.1 Medida del contenido orgánico

En general, los diferentes métodos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 mg/L, y los empleados para determinarlas concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de los 0,001 mg/L a 1 mg/L.

El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y carbono orgánico total (COT). Como complemento a estos ensayos de laboratorio se emplea la demanda teórica de oxígeno (DTO), parámetro que se determina a partir de la fórmula química de la materia orgánica [4]. En el segundo grupo de ensayos, los empleados para determinar concentraciones a nivel de traza, por debajo de 1 mg/L, se emplean métodos instrumentales que incluyen la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa.

2.4.1.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicado tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO₅). La determinación del mismo está relacionada con la medición

del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. Tres actividades más o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis del nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación.

Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular, este tercer proceso es llamado respiración endógena.

El término usado para representar los desechos orgánicos es COHNS (el cual representa los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre), y para el tejido celular es $C_5H_7NO_2$; los tres procesos se definen por las siguientes reacciones químicas:

Oxidación

$$COHNS + O_2 + \text{bacterias} \rightarrow CO_2 + H_2O + NH_3 + \text{otros productos finales} + \text{energía}$$

Síntesis



Respiración endógena



En la prueba estándar de DBO una muestra de agua residual se coloca en una botella de DBO (volumen de 300 ml). La botella se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico.

Normalmente se suelen preparar diversas diluciones para cubrir todo el intervalo de posibles valores de DBO. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno. Después de incubar la botella por 5 días a 20 °C, la concentración de oxígeno disuelto se mide de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de la muestra usada. El valor calculado de DBO se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y a 20 °C (DBO_{5,20}). Cuando la muestra a analizar contiene bajas concentraciones de microorganismos, se adiciona un inóculo para poder realizar el ensayo de la DBO.

La DBO se calcula usando las ecuaciones 2.3 y 2.4

Cuando el agua de dilución no contiene inóculo:

$$DBO = \quad \quad \quad (2.3)$$

Cuando el agua de dilución contiene inóculo

$$DBO = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f}{P} \quad (2.4)$$

Donde:

D_1 = oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación de la misma, en mg/L.

D_2 = oxígeno disuelto de la muestra diluida tras 5 días de incubación a 20 °C, en mg/L.

P = fracción volumétrica de muestra empleada

B_1 = concentración de oxígeno disuelto del blanco (conteniendo solo agua de dilución), antes de la incubación, en mg/L.

B_2 = concentración de oxígeno disuelto del blanco (conteniendo solo agua de dilución), después de la incubación, en mg/L.

f = Relación entre inóculo en la muestra e inóculo en el blanco (por 100 inóculo en D_1) / (por 100 inóculo en B_1).

La oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración es, teoría, infinita. En un periodo de 20 días se completa la oxidación del 95 al 99 % de

la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo de la DBO se llega a oxidar entre el 60 y 70 %. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en un incubador. Los resultados obtenidos a diferentes temperaturas serán distintos, debido a que las velocidades de las reacciones bioquímicas son función de la temperatura.

Limitaciones de la prueba de DBO. Aunque la DBO₅ es una prueba comúnmente usada, tiene varias deficiencias serias. Una de ellas es que la prueba no tiene validez estequiométrica, es decir, el periodo arbitrario de cinco días no corresponde al momento en que se ha consumido todo el residuo. Un periodo de incubación de cinco días se usa porque la prueba fue desarrollada en Inglaterra donde el tiempo máximo de transporte para muchos ríos desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano, es en promedio de 4,8 días.

Otras limitaciones del ensayo incluyen la necesidad de aclimatar bacterias que sirvan como inóculos, el potencial aumento de la demanda por efecto de nitrificación y limitaciones generales sobre la precisión del ensayo. Por ejemplo, si se agota el oxígeno disuelto en las botellas, el ensayo no es válido. La prueba de la DBO goza de baja reproducibilidad, y valores menores a 2 mg/L o con más de dos cifras significativas son sospechosos ^[8].

2.4.1.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. En el ensayo, se emplea un agente

químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato potásico proporciona excelentes resultados en este sentido. El ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas.

El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO [8].

2.4.1.1.3 Carbono orgánico total (COT)

Otro método para medir la materia orgánica presente en el agua residual es el método COT, especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la producción del cual se mide cuantitativamente con un analizador de infrarrojos. La aireación y la acidificación de la muestra antes del análisis eliminan los posibles errores debido a la presencia de carbono inorgánico [7].

Relaciones entre DBO, DQO Y COT. Los valores de la relación DBO_5/DQO en aguas residuales municipales no tratadas oscilan entre 0,3 y 0,8 (ver tabla 2.1).

Si la relación DBO_5/DQO para aguas residuales no tratadas es mayor que 0,5 los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO_5/DQO es menor de 0,3 el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se puede requerir microorganismos aclimatados para su estabilización. La relación DBO_5/COT para aguas residuales no tratadas varía de 1,2 a 2,0. Al usar estas relaciones, se debe recordar que ellas cambiarán significativamente de acuerdo con el tratamiento que se haya realizado a los residuos [7].

Tabla N° 2.1 Comparación de relaciones de varios parámetros utilizados para caracterizar aguas residuales.

Tipo de agua residual	DBO_5/ DQO	DBO_5/COT
No tratada	0,3 – 0,8	1,2 – 2,0
Después de sedimentación primaria	0,4 – 0,6	0,8 – 1,2
Efluente final	0,1 – 0,3	0,2 – 0,5

Fuente: Bibliográfica [7].

2.4.2 Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales tratadas y sin tratar que a ella se descargan.

Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso ^[8].

Los constituyentes químicos inorgánicos de interés comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos y metales. Entre los nutrientes inorgánicos están amoníaco libre, nitrógeno orgánico (determinado como amoníaco por digestión de la muestra), nitritos, nitratos, fósforo orgánico y fósforo inorgánico. El nitrógeno y el fósforo son de gran importancia, ya que han sido identificados como nutrientes causantes principales del crecimiento indeseable de plantas acuáticas. Otras pruebas como, pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizadas para estimar la capacidad de reutilización de aguas residuales tratadas y también como pruebas para el control de varios procesos de tratamiento. Debido a que la concentración de las especies químicas del nitrógeno y fósforo dependen de la concentración del ión hidrógeno en solución, a continuación se considera en primer lugar un breve análisis sobre el pH ^[7].

2.4.2.1 pH

La expresión usual para medir la concentración del ión hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno.

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] \quad (2.5)$$

Donde:

$[\text{H}^+]$ = Molécula de Hidrógeno

La concentración del ión hidrógeno se mide generalmente en forma instrumental empleando un pHmetro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH.

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado, por ello la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH ^[7].

2.4.2.2 Nitrógeno

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes y bioestimulantes. Debido a que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesita conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea insuficiente será necesario adicionarlo para lograr que el agua residual sea tratable ^[7].

El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoniacal, nitrito y nitrato.

El nitrógeno orgánico se determina por el método Kjeldahl, se hierve la muestra acuosa con el objeto de eliminar el amoniacal, para dar paso al proceso de digestión por ebullición en ácido sulfúrico. El nitrógeno orgánico presente en la muestra se convierte en amoniacal para luego ser destilado y medido por Nessterización. El nitrógeno Kjeldahl total se determina del mismo modo que el nitrógeno orgánico, con la diferencia de que no se elimina el amoniacal presente antes del proceso de digestión. Por lo tanto, el nitrógeno Kjeldahl total incluye ambas formas de nitrógeno, el orgánico y el amoniacal.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa, bien en forma de ión amonio o como amoniacal, en función del pH de la solución, de acuerdo con la siguiente ecuación de equilibrio:



A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que el ión amonio es predominante a valores de pH

menores que 7. El amoníaco se determina elevando el pH, destilando el amoníaco con el valor producido cuando se hierve la muestra y condensando el vapor que absorbe amoníaco gaseoso. La medida se lleva a cabo colorimétricamente, tritrimétricamente o mediante conjuntos ión electrodos específicos.

El nitrógeno del nitrito (NO_2^-), cuya determinación se realiza colorimétricamente, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. Es un indicador de la contaminación anterior al proceso de estabilización y raramente excede la cantidad de 1 mg/L en el agua residual y 0,1 mg/L en el caso de aguas subterráneas y superficiales. A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran importancia en el estudio de aguas residuales y contaminación de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas. Los nitritos presentes en los efluentes de aguas residuales se oxidan por adición de cloro, lo cual aumenta la cantidad de cloro a dosificar y por lo tanto el costo de la desinfección.

El nitrógeno de nitrato es la forma más oxidada de nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de agua subterránea, la concentración de nitrato es importante. Ello es debido a las limitaciones que impone la EPA (Environmental Protection Agency) relativas a las aguas potables, en las que el contenido de nitratos no puede superar 45 mg/L como NO_3^- , dadas sus graves y ocasionalmente, fatales consecuencias sobre los niños. La norma venezolana también establece un límite de la concentración de nitratos en efluentes de aguas residuales, la cual puede variar entre 0 y 20 mg/L. La concentración de nitratos también suele determinarse vía métodos colorimétricos ^[8].

2.4.2.3 Fósforo

El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales y a través de las escorrentías naturales.

Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos como el PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , H_2PO_4 y H_3PO_4 , por ejemplo, se hallan disponibles para el metabolismo biológico sin que sea precisa una ruptura posterior. El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser constituyente importante en los vertidos industriales y los lodos de aguas residuales domésticas.

La determinación del ortofosfato puede llevarse a cabo añadiendo directamente alguna sustancia que origine un complejo coloreado en el fosfato, como puede ser el caso del molibdato amónico. Antes de determinar la cantidad de polifosfatos y fosfatos orgánicos, siguiendo un método parecido, es preciso convertirlos a polifosfatos, operación que se lleva a cabo con un proceso de digestión en medio ácido ^[8].

2.4.3 Gases

La determinación de gases disueltos tales como amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno, se realiza para ayudar en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las mediciones de oxígeno disuelto y amoníaco se realizan para controlar y monitorear los procesos de sistema de tratamiento biológico aerobios. Las mediciones de metano, dióxido de carbono y amoníaco se realizan junto con la operación de digestores anaerobios ^[7].

El oxígeno disuelto es fundamental para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es solo ligeramente soluble en el agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que pueden estar presente en la solución, viene condicionada por, solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.).

2.5 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de las enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos, dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales. Por ello, es imprescindible destacar en esta sección: los microorganismos encontrados en aguas superficiales y aguas subterráneas, los organismos patógenos presentes en las aguas residuales, los organismos utilizados como indicadores de contaminación, los métodos empleados para determinar los

organismos indicadores y los métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

2.5.1 Microorganismos presentes en las aguas residuales

Los principales grupos de organismos presentes en aguas superficiales están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas, animales y virus. Estos microorganismos pueden ser clasificados como eucariotas, bacterias y arqueobacterias.

Para el normal funcionamiento y reproducción de los microorganismos, estos necesitan de fuentes de carbono y energía para la síntesis de nuevo material celular. Además el carbono, muchos nutrientes orgánicos e inorgánicos son necesarios para un apropiado crecimiento y síntesis celular. Los principales nutrientes inorgánicos que necesitan los microorganismos son N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, y Cl. Los micronutrientes más importantes son Zn, Mn, Mo, Se, Co, Ni y W.

Los microorganismos también se pueden clasificar metabólicamente por su habilidad para crecer en la presencia o ausencia de oxígeno molecular, los cuales pueden ser de tipo aerobios (obligados, facultativo y microaerófilos) y anaerobios (aerotolerantes y obligados).

También las condiciones ambientales de temperatura y pH tienen un importante efecto sobre la sobrevivencia y crecimiento de las bacterias. En general, el crecimiento óptimo ocurre dentro de un estrecho intervalo de pH y temperatura aunque las bacterias pueden sobrevivir dentro de intervalos más amplios. Por lo general el pH óptimo para crecimiento bacterial oscila entre

6,5 y 7,5. De acuerdo con el intervalo de temperatura en el que las bacterias funcionan mejor pueden clasificarse como: psicrófilas, mesófilas y termófilas.

2.5.2 Organismos patógenos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que están afectados o que están portadores de una enfermedad determinada. Las principales clases de organismos patógenos que pueden encontrarse en aguas residuales son: bacterias, parásitos (protozoos y helmintos) y virus. Los organismos patógenos bacteriales excretados por el hombre causan por lo general enfermedades de tracto gastrointestinal, como fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, diarrea y cólera. En vista en que estos organismos son altamente infecciosos, se les acusa de ser responsables de un gran número de muertes al año en zonas con escasa cobertura sanitaria, en especial en el trópico.

2.5.3 Uso de organismos indicadores

En vista del gran número de organismos patógenos presentes en aguas residuales y poluidas es posible aislar e identificar solo algunos de ellos, los organismos coliformes se emplean como organismos indicadores por su fácil identificación y presencia abundante. El tracto intestinal humano contiene grande poblaciones de bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como bacterias coliformes. Además de otras clases de bacterias, cada persona evacua de 100.000 a 400.00 millones de bacterias coliformes por día. Por eso, la presencia de bacterias coliformes es un indicador de la posible

presencia de organismos patógenos, y la ausencia de bacterias coliformes indica que las aguas están libres de organismos transmisores de enfermedades.

2.5.4 Métodos empleados para determinar los organismos indicadores

Los ensayos habituales empleados para la determinación de la presencia de organismos coliformes son el método de fermentación en tubos múltiples y el método del filtro de membrana. Otros métodos como las pruebas de presencia ausencia (P – A) se ha desarrollado para estimar en forma cualitativa la calidad del agua. Además, se ha desarrollado un buen número de métodos fluorescentes y de coloración para identificar bacterias específicas.

2.5.4.1 Método de fermentación de tubos múltiples

La técnica de fermentación de tubos múltiples se basa en el principio de dilución hasta la extinción. Las concentraciones de bacterias coliformes totales suelen expresarse como número más probable por 100 ml (NMP/100ml). La determinación del NMP se basa en la aplicación de la distribución de Poisson para valores extremos encontrados en el análisis del número de resultados positivos y negativos obtenidos en ensayos de diferentes fracciones de la muestra de volúmenes iguales y en fracciones que formen series geométricas. Es conveniente enfatizar que el NMP no es una concentración absoluta de organismos presentes en la muestra, sino solo una estimación estadística de la concentración. El procedimiento completo del método de fermentación en tubos múltiples involucra tres

etapas identificadas como presunción, confirmación y terminación de la prueba. Se dispone de un procedimiento similar para el grupo de coliformes fecales, así como para otros grupos bacteriales [9].

El NMP puede determinarse empleando directamente la distribución de Poisson, las tablas de la determinación del NMP (Ver anexo B), derivadas de la distribución de Poisson, o la ecuación de Thomas. La probabilidad conjunta (basada en la distribución de Poisson) de obtener un determinado resultado a partir de una serie de tres diluciones es la proporcionada por la ecuación 2.6. Cabe destacar que esta ecuación puede ser ampliada para cualquier número de diluciones.

$$y = \frac{1}{a} [(1 - e^{-n_1\lambda})^{p_1} (e^{-n_1\lambda})^{q_1}] [(1 - e^{-n_2\lambda})^{p_2} (e^{-n_2\lambda})^{q_2}] [(1 - e^{-n_3\lambda})^{p_3} (e^{-n_3\lambda})^{q_3}] \quad (2.6)$$

Donde:

y = Probabilidad de ocurrencia de un resultado determinado.

a = Constante para un conjunto de condiciones dadas.

n_1, n_2, n_3 = Tamaño de muestra en cada dilución, ml.

λ = Densidad de coliformes, numero/ ml

P_1, P_2, P_3 = Número de tubos positivos en cada dilución de muestra

q_1, q_2, q_3 = Número de tubos positivos en cada dilución de muestra

Cuando no se disponga de la ecuación de Poisson o de las tablas de NMP puede emplearse la ecuación de Thomas, desarrollada en 1942, para estimar el NMP.

$$\text{NMP}/100\text{ml} = \frac{\text{Número de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{\left(\frac{\text{ml de muestra en tubos negativos}}{\text{ml de muestra en todos los tubos}}\right) \times \left(\frac{\text{ml de muestra en todos los tubos}}{\text{ml de muestra en tubos negativos}}\right)}} \quad (2.7)$$

Al aplicar la ecuación de Thomas en situaciones en las cuales los resultados de los cinco tubos han sido positivos, el conteo de tubos positivos debe darse a partir de la mayor dilución en la que por lo menos se ha registrado un resultado negativo ^[7].

El anexo B contiene los valores del NMP para límites de confianza del 95 %, basados en diluciones de 10, 1 y 0,1 ml de muestra. Si se usan volúmenes de muestras mayores o menores, los valores de NMP observados se deben corregir por medio de la ecuación 2.8

$$\text{NMP}/100\text{ml} = \text{valor NMP} \times \frac{10}{\text{El mayor volumen para el ensayo}} \quad (2.8)$$

En situaciones donde se han realizado más de tres diluciones, se usará la siguiente regla para seleccionar las tres diluciones que se emplearán para determinar el valor del NMP ^[9]. , se debe escoger la mayor dilución que arroje resultados positivos entre las cinco diluciones realizadas (ninguna dilución más baja proporciona resultados negativos), y las dos mayores diluciones siguientes. Los resultados de esas tres diluciones se usaran para calcular el valor del NMP.

Cuando se desee resumir en un solo valor del NMP, los resultados de una serie de muestras se usan la media geométrica o la mediana.

Criterios para la interpretación de los resultados de la cuantificación de las bacterias coliformes

1. Un promedio de bacterias coliformes igual o menor a 1, por cada 100 ml de muestra, indica que el agua es apta desde el punto de vista sanitario.

2. Un número de coliformes mayor que 1, por cada 100 ml de muestra, indica una posible contaminación.

3. La presencia de un cierto número de bacterias coliformes indica una contaminación cloacal o fecal.

4. Siempre existe la posibilidad de que cuando el agua contenga bacterias coliformes, haya presencia en la misma de bacterias patógenas intestinales (o de otros microorganismos patógenos), presentes en el intestino humano o de otros animales ^[10].

2.5.4.2 Técnica de filtro de membrana

En la técnica de filtro de membrana, un volumen determinado de muestra se hace pasar a través de un filtro de membrana que tiene un tamaño de poro muy pequeño. Las bacterias son retenidas sobre el filtro, ya que son de mayor tamaño que los poros del filtro de membrana. El filtro que contiene las bacterias, se pone entonces en contacto con el agar que contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento de las bacterias. Después de la incubación, las colonias de coliformes pueden ser contadas y

se calcula la concentración de las mismas en la muestra original de agua. La técnica de filtro de membrana tiene la ventaja de ser más rápida que el método del NMP y además se tiene un conteo directo del número de bacterias coliformes.

2.6 ESTUDIOS DE CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL

Para la caracterización del agua residual se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos. Estos últimos se utilizan para determinar parámetros no relacionados con las propiedades másicas o volumétricas del agua, e incluyen métodos instrumentales como la turbidimetría, colorimetría, potenciometría, espectrometría de absorción, fluorimetría, espectroscopia y radiación nuclear.

2.6.1 Muestreo

Las técnicas de muestreo utilizadas en un estudio de agua residual deben asegurar la obtención de muestras representativas, ya que los datos que se deriven de los análisis de dichas muestras serán, en definitiva, la base para el proyecto de las instalaciones de tratamiento. Para que las muestras sean representativas, es necesario conocer las variaciones horarias del flujo. No existen procedimientos universales de muestreo; los

procedimientos de muestreo deben diseñarse específicamente para cada situación ^[8].

Los datos recolectados del programa de muestreo deben ser:

Representativos. Los datos deben representar el agua residual o el ambiente muestreado.

Reproducibles. Los datos obtenidos deben ser reproducidos por otros siguiendo el mismo muestreo y protocolos analíticos.

Sustentados. La documentación debe estar disponible para validar el plan de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.

Útiles. Los datos deben poder usarse para encontrar los objetivos del plan de monitoreo.

Antes de emprender un programa de muestreo, debe reunirse un protocolo detallado del mismo en conjunto con un plan de garantía de la calidad. Como mínimo los siguientes puntos se deben especificar en el plan de garantía de la calidad ^[7].

Plan de muestreo. Número de puntos de muestreo, número y clase de muestras, intervalos de tiempo entre la toma de muestras.

Clase de tamaño de muestras. Toma de muestras, muestras compuestas o muestras integradas, tamaño de muestras.

Rotulado y cuidado de la muestra. Identificación de cada muestra con rótulos, sellamiento, registro en el libro de campo, registro de cuidado en el transporte, diligenciamiento de la orden de solicitud de análisis, entrega de la muestra en el laboratorio, recepción de la muestra y orden del análisis de la muestra.

Almacenamiento y preservación de la muestra. Clase de recipiente (por ejemplo, plástico o vidrio), métodos de preservación, tiempo máximo permitido para almacenamiento.

Constituyentes de la muestra. Lista de parámetros a ser medidos.

Métodos analíticos. Lista de los métodos y procedimientos a ser usados en el campo y en el laboratorio y los límites de detención de los diferentes métodos individuales.

2.6.1.1 Muestra simple

Es aquel tipo de muestra que se toma en cualquier momento del día y en un punto específico.

2.6.1.2 Muestra compuesta

Es el tipo de muestra formada por volúmenes proporcionales al flujo, los cuales han sido tomados en intervalos regulares de tiempo durante un periodo largo, generalmente un día.

2.6.2 Unidades de medida para parámetros físicos y químicos

Los resultados de los análisis de muestras de agua residual son expresados en términos de unidades físicas y químicas. Las medidas de parámetros químicos usualmente se expresan en términos de unidades físicas como miligramos por litro (mg/L) o gramos por metro cubico (g/m³). La concentración de constituyentes traza se expresa como microgramo por litro (µg/L). La concentración también se puede expresar como partes por millón (ppm), que es una relación masa/masa. La relación entre mg/L y ppm es:

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg/L}}{\text{gravedad específica d}} \quad (2.9)$$

Para sistemas diluidos, como los encontrados en aguas naturales y aguas residuales en los que un litro de muestra pesa aproximadamente un kilogramo, las unidades mg/L o g/m³ son intercambiables con ppm. Los gases disueltos, considerados como constituyentes químicos, son medidos en unidades de ppm (volumen / base volumen) µg/L o mg/L. Los gases generados como subproductos de aguas residuales, como dióxido de carbono y metano (descomposición anaerobia), son medidas en términos de pie³ (m³ o L) [7].

2.7 CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recogida que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:

1. **Aguas residuales domésticas.** Procede de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas o similares.

2. **Agua residual industrial.** Agua residual en la que predominan vertidos industriales.

3. **Infiltración y aportaciones incontroladas(I/I).** Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.

4. **Aguas pluviales.** Agua resultante de la escorrentía superficial.

2.7.1 Origen y caudales de las aguas residuales domésticas

Las zonas residenciales y los centros comerciales constituyen las principales fuentes de generación de las residuales domésticas. También debe tomarse en cuenta la contribución que representan los edificios institucionales y los espacios recreacionales.

Zonas residenciales. En zonas residenciales, el caudal de agua residual es principalmente función del número de habitantes.

Zonas comerciales. La obtención de los caudales de agua residual que se generan en las zonas comerciales se basa normalmente en la comparación con datos de zonas existentes o de futura construcción y suelen expresarse en $\text{m}^3/\text{ha} \times \text{día}$.

Centros institucionales. Los caudales de centros institucionales varían en función de la región, el clima y el tipo de institución. La mejor fuente de información es siempre la de centros existentes de similares características.

Centros recreativos. Los caudales que general este tipo de instalaciones varían considerablemente en función de la época del año, dado que su actividad es marcadamente de temporada.

2.7.2 Agua residual de origen industrial.

Los caudales de aguas residuales generados en las diferentes industrias dependen del tipo y del tamaño del centro industrial, el grado de reutilización del agua y el pre-tratamiento que se de al agua utilizada en caso de que este sea realizado.

2.7.3 Infiltración y aportaciones incontroladas

Estos aportes se definen de la siguiente manera:

Infiltración. Es toda el agua que entra en la red de alcantarillado a través de tuberías defectuosas, juntas, conexiones entre elementos de la red y paredes de los puntos de registro. Y se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_{inf} = \frac{L \times n}{86400} \quad (2.10)$$

Donde:

Q_{inf} = Gasto de infiltración (l/s)

L = Longitud de colectores incluyendo empotramientos (Km)

n = 20.000 l/día-Km ^[10].

86.400 = factor de conversión de días a segundos (s/d)

Cuando no se tengan datos de la longitud de colectores, se recomiendan los siguientes valores según Fair, Geyer y Okun ^[11].

465 a 4650 m³ por día por km².

11700 a 234000 l por día por km, incluyendo conexiones domiciliarias.

467 a 4670 l por km por cm de diámetro más 378,5 l por día por boca de visita.

Aportaciones permanentes. Agua que proviene del drenaje de sótanos y cimentaciones, circuitos de refrigeración y drenaje de zonas pantanosas y manantiales.

Aportaciones directas. Constituidas por los aportes de la escorrentía superficial a la red de alcantarillado, provenientes de bajantes de edificios, drenajes de patios y terrazas, tapas de pozos de inspección y conexiones incorrectas entre alcantarillados pluviales.

2.8 MEDIDORES DE CAUDAL

La medición de caudal puede ser realizada con relativa facilidad utilizando convenientemente y siempre que fuese posible, medidores Parshall u otros sistemas de medición similar.

El medidor Parshall consiste en una sección convergente, una sección de paredes verticales paralelas llamada garganta y una sección divergente, dispuesta en planta. El medidor Parshall es aplicado al control de la velocidad en los desarenadores en las estaciones de tratamiento de agua.

2.9 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

Es necesario analizar con mucha atención, a partir de los datos disponibles, las características y variaciones de los caudales de aguas residuales, los cuales son muy importantes para el diseño y la operación de las redes de alcantarillado y los sistemas de tratamientos. Mediante el

análisis de los datos de caudales pueden obtenerse importantes parámetros entre los cuales podemos citar:

Caudal medio diario. Es el caudal promedio en 24 horas obtenido a partir de los datos de todo el año. Se emplea para la determinación de la capacidad de una planta de tratamiento y para obtener los caudales de diseño. Se calcula según la ecuación 2.13, en el caso de aguas blancas (Acueductos).

$$Q_{m_{diario}} = \frac{\text{Dotación} \times \text{Población}}{86400} \quad (2.11)$$

Donde:

$Q_{m_{diario}}$ = Caudal medio diario

Dotacion = 250 l/d por habitante

Poblacion = N° de habitantes

Caudal máximo diario. Promedio de los caudales máximos obtenidos en un periodo de 24 horas en el registro examinado. Se emplea para dimensionamiento de tanques de homogeneización o de coloración ^[7].

$$Q_{max_{diario}} = Q_{m_{diario}} \times K \times R \quad (2.12)$$

Donde:

K = Coeficiente poblacional de Harmon (adimensional)

R = Coeficiente de gasto de reingreso = 0,80

El coeficiente poblacional se determina según la siguiente ecuación ^[12]

$$K = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (2.13)$$

Donde:

P = Población en miles de habitantes

Caudal mínimo diario. Promedio de los caudales mínimos obtenidos en un periodo de 24 horas en el registro examinado. Se emplea para el diseño de conducciones del flujo en la que se puede producir sedimentación cuando circulan caudales pequeños.

Caudal máximo promedio semanal. Promedio de los caudales máximos obtenidos en un periodo de una semana en el registro examinado.

Caudal mínimo promedio semanal. Promedio de los caudales mínimos obtenidos en un periodo de una semana en el registro examinado.

2.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El aspecto más importante en el estudio del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales es la comparación de las

características de las sustancias contenidas en el efluente del mismo con las directrices establecidas por el organismo regulador de la materia, pudiéndose determinar de este modo si existen problemas y cuál es el alcance de los mismos. Es por esto que la clasificación de la información obtenida, a través de un muestreo, es fundamental para conocer la eficiencia de estos sistemas. Un estudio estadístico puede revelar el comportamiento que sigue el proceso de tratamiento del agua residual, las variaciones que sufren algunos parámetros como la DBO, en función el valor de diseño o el estipulado por los organismos institucionales.

La estadística es un elemento decisivo en el mejoramiento de la calidad del tratamiento, ya que las técnicas estadísticas pueden emplearse para describir y comprender la variabilidad, que es el resultado de cambios en las condiciones bajo las que se hacen las observaciones; el campo de la estadística consiste en métodos para describir y modelar la variabilidad. ^[13]

Los parámetros estadísticos empleados se describen a continuación:

Media aritmética. Es la medida más común de localización o centro de datos, es el promedio aritmético ordinario. Se denota por \bar{X} y se define por:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2.13)$$

Donde:

X = Datos

N = Cantidad total de datos

Media geométrica. Es la raíz enésima del producto de un conjunto de números. Se denota por G y se define por:

$$G = \sqrt[N]{(X_1, X_2, X_3, \dots)} \quad (2.14)$$

Donde:

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ = Conjunto de datos

N = Cantidad total de datos

Varianza. Es la cantidad que mide la dispersión de los valores que recorren una variable aleatoria, es la medida de cuadro de las desviaciones. Se denota por S y se define por:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N} \quad (2.15)$$

Donde:

X = datos

\bar{X} = Media aritmética

N = Cantidad total de datos

Desviación estándar. Es la raíz cuadrada de la varianza. Se denota por σ y se define por:

$$\sigma = \sqrt{S^2} \quad (2.16)$$

$$\sigma = \sqrt{s}$$

Distribución normal. La distribución normal fue reconocida por primera vez por el francés Abraham de Moivre (1667-1754), posteriormente, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva; de ahí que también se le conozca, más comúnmente como la “campana de Gauss”. La distribución de una variable normal esta completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por μ y σ . [19]

Con esta notación, la densidad de la normal viene dada por la ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{x-\mu}{\sigma} \right]^2 \right\}; -\infty < x < \infty \quad (2.17)$$

Esta ecuación determina la curva en forma de campana. Así, se dice que una característica X sigue una distribución normal de media μ y varianza σ^2 , y se denota como $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ si la función de densidad viene dada por la ecuación #

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{x-\mu}{\sigma} \right]^2 \right\}; -\infty < x < \infty \quad (2.18)$$

Para distribuciones normales se presentan los siguientes casos:

El 68,27% de los casos están entre $\mu \pm \sigma$ (una desviación estándar a cada lado de la media)

95,45% de los casos están entre $\bar{X} \pm 2\sigma$: (dos desviaciones estándar a cada lado de la media)

99,73% de los casos están entre $\bar{X} \pm 3\sigma$: (tres desviaciones estándar a cada lado de la media)

Intervalos de confianza para las medias. El límite de confianza se mide por:

$$\bar{X} \pm z_c \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2.19)$$

Donde:

\bar{X} = Media aritmética

z_c = Valor que depende del nivel de confianza deseado (ver tabla 2.2)

σ = Desviación estándar

N = Cantidad total de datos

Tabla N° 2.2 Valores del nivel de confianza.

Nivel de Confianza (%)	99,73	99	98	96	95,45	95	90	80	68,27	50
z_c	3,00	2,58	2,33	2,05	2,00	1,96	1,645	1,28	1,00	0,6745

Fuente: Bibliográfica ^[13].

2.11 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las instalaciones de tratamiento biológico de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, suelen estar formadas por una sucesión de procesos físico – químicos y biológicos tanto aerobios como anaerobios complementados entre sí que permiten realizar una depuración integral en las mejores condiciones técnicas y económicas posibles.

La eficacia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la DBO, una medida de la cantidad de oxígeno disuelto consumidos por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica. Cuanto mayor es el nivel de materiales oxidables orgánicos e inorgánicos, más elevada es la DBO y peor es la calidad del agua. Una planta de tratamiento de aguas residuales que funcione bien, puede eliminar el 95 % o más de la DBO inicial.

Convencionalmente, los procesos de un sistema de tratamiento de agua residual se agrupan en:

- Pre – tratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

2.11.1 Pre – tratamiento

En todo sistema de tratamiento resulta necesaria la existencia de un tratamiento previo o pre – tratamiento que elimine del agua residual aquellas materias que pueden obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores.

Con el pre – tratamiento se elimina la parte de polución más visible: cuerpos voluminosos, trapos, palos, hojas, arenas, gravas y materiales similares, que llegan flotando o suspensión desde los colectores de entrada.

Una línea de pre – tratamiento convencional consta de las etapas de **desbaste, desarenado y desengrasado**.

El **desbaste** se lleva a cabo mediante rejas formadas por barras verticales o inclinadas, que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en un canal de entrada a la sección depuradora. Su misión es retener y separar los sólidos más voluminosos, a fin de evitar las obstrucciones en los equipos mecánicos de la planta y facilitar la eficacia de los tratamientos posteriores.

Las instalaciones de **desarenado** se sitúan después del desbaste y tienen como objetivo el extraer del agua bruta las partículas minerales de tamaño superior a uno fijado en el diseño, generalmente 200 micra. El funcionamiento técnico del desarenado reside en hacer circular el agua en una cámara de forma que la velocidad quede contralada para permitir el depósito de arena en el fondo. Normalmente, esta arena sedimentada queda desprovista casi en su totalidad de materia orgánica y es evacuada,

mediante bombas, al clasificador de arenas, y posteriormente, a un contenedor.

La fase de **desengrasado** tiene por objeto eliminar las grasas, aceites y en general los flotantes, antes de pasar el agua a las fases posteriores del tratamiento. El procedimiento utilizado para esta operación es el de inyectar aire a fin de provocar la desemulsión de las grasas y su ascenso a la superficie, en donde se extraen por medio de algún dispositivo de recogida superficial, normalmente rasquetas, para acabar en contenedores.

Otros elementos del pre – tratamiento son el **Aliviadero** y el **Medidor de Caudal**. El primero permite que la planta funcione siempre según el caudal del proyecto, y conjuntamente con el medidor de caudal, permite controlar la cantidad de agua que entra en la planta.

2.11.2 Tratamiento primario

Se entiende por tratamiento primario aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pre – tratamiento.

El principal proceso del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los lodos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, el agua entra por el centro y sale por la periferia,

mientras que los lodos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas. En el caso de sistemas descentralizados pequeños, el tratamiento primario se puede llevar a cabo mediante pozos sépticos.

Otros procesos de tratamiento primario incluyen el mecanismo de **flotación con aire**, en donde se eliminan sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas, produciendo unas burbujas de aire muy finas que arrastran las partículas a la superficie para su posterior eliminación.

El tratamiento primario permite eliminar en aguas residuales urbanas aproximadamente el 90 % de las materias decantables y el 65 % de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35 %.

2.11.3 Tratamiento secundario

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pre – tratamiento y tratamiento primario.

El tratamiento secundario más comúnmente empleado para las aguas residuales urbanas consiste en un proceso biológico aerobio seguido por una decantación, denominada secundaria.

El proceso biológico puede llevarse a cabo por distintos procedimientos. Los más usuales son el proceso denominado “lodos activados” y el denominado “lechos bacterianos o percoladores”. Existen otros procesos de depuración aerobia de aguas residuales empleados principalmente en pequeñas poblaciones: sistema de lagunaje, filtros verdes, lechos de turbas o contractores biológicos rotativos, humedales construidos (artificiales), etc.

2.12 REQUISITOS DE TRATAMIENTO

La capacidad y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales la determina su diseño. En plantas de tratamiento, la variable de mayor influencia sobre el tratamiento es la cantidad y concentración de los residuos industriales ^[7].

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda
- La calidad requerida del efluente
- La disponibilidad del terreno
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema de tratamiento
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción

requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas. Como guía general para la selección de procesos aplicables a la remoción de agentes contaminantes de aguas residuales.

2.12.1 Cargas contaminantes

Los efectos de las aguas residuales sobre el sistema de tratamiento y sobre la fuente receptora son función de sus características o composición, es decir, de su concentración, así como de su cantidad o caudal. El producto de la concentración por caudal, en un sitio específico, se denomina carga y generalmente se expresa en Kg/d^[7].

Toda fuente receptora, o sistema de tratamiento, tiene una capacidad específica de asimilación de un contaminante. En el caso de un río, si se excede la capacidad de asimilación, el río pierde las condiciones exigidas para su mejor uso y se convierte en un río contaminado. En el caso de un sistema de tratamiento, si se excede su capacidad de tratamiento, por carga o por concentración, el sistema entra en dificultades operacionales, probablemente pierde su capacidad de remoción, y producirá un afluente inferior en calidad al requerido.

En la evaluación y control de la contaminación, la cuantificación de la concentración y de la carga contaminante de un residuo son de máxima importancia para asegurar díselos confiables de los sistemas de tratamiento y equidad en los costos o tasas retributivas asignadas por tratamiento, o por disposición de afluentes de aguas residuales.

La comparación de los efectos contaminantes de un agua residual debe hacerse con base en su concentración y en su carga. Algunas veces resulta muy difícil satisfacer una norma de concentración de un afluente por exigir calidad muy sobresaliente y, en otras ocasiones, es imposible hacerlo por razones económicas.

Uno de los aspectos más importantes, cuando se cuantifica la dimensión de la calidad del agua, consiste en determinar la carga masiva total de un contaminante, descargada por unidad de tiempo, sobre una fuente receptora específica. La variabilidad del caudal y de la concentración, así como la existencia de aportes puntuales y no puntuales, complica dicha evaluación.

Aunque después del tratamiento de un agua residual, puede ser necesario disponer de una carga contaminante sobre una fuente receptora. El porcentaje de remoción necesario depende, principalmente, de la norma para el mejor uso de la fuente receptora.

Consecuentemente, en el planeamiento de un sistema de tratamiento para satisfacer una norma o estándar de calidad, con base en el mejor uso de la fuente receptora, es de gran importancia calcular la carga máxima permisibles que puede disponerse si se quiere aprovechar la capacidad de autopurificación de la fuente receptora y el beneficio económico consecuente.

2.13 TANQUES SÉPTICO

El tanque séptico se caracteriza porque en él la sedimentación y la digestión ocurren dentro del mismo tanque; con lo anterior, se evitan los

problemas de complejidad de construcción y excavación profunda del tanque Imhoff. El tanque séptico consiste esencialmente en uno o varios tanques o compartimientos, en serie, de sedimentación de sólidos. La función más utilizada del tanque séptico es la de acondicionar las aguas residuales para disposición subsuperficial en lugares donde no existe un sistema de alcantarillado sanitario. En estos casos sirve para: ^[7]

Eliminar sólidos suspendidos

Realizar el tratamiento anaerobio de los lodos sedimentados

Almacenar lodos y material flotante

La remoción de DBO en un tanque séptico puede ser del 30 al 50 %, de grasas y aceites un 70 a 80 %, de fósforo un 15 % y de un 50 a 70 % de SS, para aguas residuales domésticas típicas. Para la localización de un tanque séptico se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios:

Para proteger las fuentes de agua, el tanque debe localizarse a más de 15 m de cualquier fuente de abastecimiento.

El tanque debe encontrarse a una distancia mayor de 2 m de cualquier fuente de abastecimiento.

El tanque no debe estar expuesto a inundación y debe disponer de espacio suficiente para la construcción del sistema de disposición o tratamiento posterior a que haya lugar.

El tanque debe tener acceso apropiado para que su limpieza y mantenimiento sean fáciles.

2.13.1 Capacidad del tanque séptico

La capacidad total de un tanque séptico se determina de diferentes maneras: con base en la población servida o con base en el caudal afluente y el tiempo de retención ^[7].

La experiencia ha demostrado que para obtener una sedimentación efectiva y un periodo de desenlode apropiado, el tiempo de retención del tanque debe ser de uno a tres días. La frecuencia de limpieza se puede calcular suponiendo una capacidad para lodos de un tercio del volumen del tanque y una tasa de acumulación de 0,04 m³ por persona servida por año.

2.13.2 Descripción

Los pozos sépticos se usan principalmente en el tratamiento de aguas residuales de viviendas individuales; su uso se ha extendido incluso al tratamiento de residuos de establecimientos educativos, campamentos de verano, parques, zonas para acampar y moteles, modificando solo el tamaño de los tanques. A continuación se consideran las diferentes clases de materiales de construcción, la funcionalidad en la operación, problemas de tipo operativo y algunos elementos adicionales de los tanques sépticos. Antes de desarrollar estos temas, se considera útil realizar una breve descripción de la evolución histórica de un tanque de sépticos.

2.13.3 Materiales en construcción

En general, en la construcción de pozos sépticos se usan materiales como el concreto o la fibra de vidrio, aunque también se han empleado materiales como acero, madera de secuoya (*sequoia pervilleans*) y polietileno.

La mayoría de las agencias reguladoras no permiten en la actualidad el uso de materiales como el acero y la madera para la construcción de pozos sépticos ^[7].

Los tanques de polietileno se han usado últimamente a pesar de que su resistencia estructural es inferior a la de los tanques construidos en concreto o en fibra de vidrio; además, se han presentado problemas con este tipo de tanques, ya que el polietileno es un material que se deforma con el paso del tiempo. Los tanques construidos en fibra de vidrio son más costosos y se emplean en zonas donde las mezcladoras de concreto no tienen acceso. Independientemente del material de construcción, un tanque séptico debe poseer resistencia estructural y ser impermeable, es decir que no tenga fugas del contenido del tanque si desea que funcione de manera adecuada, en especial cuando existen etapas posteriores de tratamiento como filtros de lecho empacado intermitente y con recirculación o se utilizan alcantarillas a presión la diferencia de precios entre un tanque estructuralmente resistente e impermeable incluso el valor estimado para un tanque nuevo.

2.13.4 Funcionamiento y operación

Los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material ligero tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo, corresponde al agua tratada y se puede llevar para disposición en campos de infiltración o ser sometida a una unidad de tratamiento si esta existe. La materia orgánica retenida en el fondo del tanque se somete a un proceso de descomposición anaeróbica y facultativa,

transformándose en compuestos y gases más estables como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). El lodo que se acumula en el fondo del pozo séptico está compuesto de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición de papel higiénico; aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que en últimas se acumulan. Es interesante anotar que los primeros tanques sépticos se conocieron como tanques de licuados, debido a que en ausencia de materiales extraños, todos los sólidos presentes en el agua cruda se transformaban en compuestos líquidos. Para limitar la acumulación de lodos en los tanques sépticos se recomienda el uso de papel higiénico biodegradable y las instalaciones de trampas para detener hilachas ^[7].

2.14. HUMEDALES

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos (Véase Figura 2.3). La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar ^[14].

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, son estas:

Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.

Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.

Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual (Véase Figura 2.4): Sistemas a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS). En los casos en que se emplean para proporcionar tratamiento secundario o avanzado, los sistemas FWS suelen consistir en balsas o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable o con una barrera subsuperficial, vegetación emergente, y niveles de agua poco profundos (0.1 a 0.6 m).

2.14.1 Humedales de flujo subsuperficial

A los sistemas de flujo subsuperficial normalmente se les aplica agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente.

Esta clase de sistemas suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavados y rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se

mantiene por debajo de la superficie de grava (Véase Figura 3). Las mismas especies vegetales se usan en los dos tipos de humedales artificiales.

En este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena en espesores de 0,45 a 1 m y con pendiente de 0 a 0,5 %. En la tabla 2.4 se incluyen características típicas del medio usado en humedal artificial de flujo subsuperficial.

Tabla N° 2.3 Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial.

Medio	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena media	1	0,30	500
Arena gruesa	2	0,32	1000
Arena y grava	8	0,35	5000
Grava media	32	0,40	10000
Grava gruesa	128	0,45	100000

Fuente bibliográfica ^[6].

Tabla N° 2.4 Criterios para humedales de flujo subsuperficial.

Criterio	Valor
Tiempo de retención para remoción de DBO, d	3 – 4 (DBO) 6 – 10(N); 4 – 15
Carga hidráulica superficial, m ³ /ha.d	470 – 1870
Carga orgánica, Kg DBO/ha.d	< 112
Carga de SST, Kg/ha.d	390
Profundidad del agua, m	0,3 – 0,6
Profundidad del medio, m	0,45 – 0,75
Control de mosquitos	No requiere
Programa de cosecha	No requiere
Calidad esperada del efluente DBO/SST/NT/PT/, mg/L	< 20/20/10/5

Fuente bibliográfica ^[6].

En contraste con los humedales de flujo superficial o con espejo de agua, los humedales artificiales de flujo subsuperficial tienen menores requerimientos de área y carecen de problemas de olores y de mosquitos. Como desventaja, sin embargo, se tiene un costo mayor por el medio de grava y riesgo de taponamiento. La vegetación es semejante a la de los humedales con espejo de agua y no se requiere cosechar las plantas. En la tabla 2.5 se incluyen las características más importantes para diseño de humedales de flujo subsuperficial.

2.14.2 Componentes del humedal

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, substrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Estos componentes pueden manipularse construyendo un humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.^[14]

2.14.3 El agua

Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua.

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales y cercanas a superficie, difiere en aspectos importantes:

Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.

Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).

La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el

movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas y, segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol.

2.14.4 Substratos, Sedimentos y Restos de vegetación

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca, y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El substrato, sedimentos, y los restos de vegetación son importantes por varias razones:

Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.

La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.

Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del substrato.

El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.

La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el

oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno de la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un substrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

2.14.5 Vegetación

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión ^[14].

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.

Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.

Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.

Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.

El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato.

El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos, y juncos de laguna.

También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos. Cuando se diseñan sistemas que específicamente buscan un incremento en los valores del hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática.

Espadaña (Typha).

La Espadaña se ubica en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 0.6m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una relativamente baja penetración en grava (0.3m) por lo que no es recomendable para sistemas SFS.



Figura 2.7 Espadaña (Typha) ubicada en un pantano.

Fuente bibliográfica [14].



Figura 2.8 Detalle de la Espadaña (Typha). Fuente bibliográfica [14].

Anea o Enea (Scirpus).

Son de la familia de las ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Son plantas ubicuas que crecen en un rango diverso de aguas interiores y costeras, pantanosava aproximadamente 0.6m por lo que son muy usadas en humedales SFS. Existen muchas variedades de *Scirpus*. A continuación se pueden ver fotografías y esquemas de algunas de las más usadas en humedales. [11]



Figura 2.9 Anea o Enea (*Scirpus*). Fuente bibliográfica ^[14].

Cañas (*Phragmites*).

Son anuales y altos con un rizoma perenne extenso. Logran un muy buen cubrimiento en un año con separación de 0.6 m. Se han usado carrizos en Europa y han sido la planta acuática emergente más extendida. Sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente, y más profundamente que los de las espadañas pero menos que los juncos 0.4m. son muy usados para humedales artificiales porque presentan la ventaja de que tienen un bajo valor alimenticio y por tanto no se ven atacadas por animales como otros tipos de plantas.



Figura 2. 10 Cañas (Phragmites). Fuente bibliográfica ^[14].

Hierba mala (*Elodea nuttallii*)

Planta macrófita, conocida como hierba mala de agua, capaz de soportar una biopelícula activa, de remover grandes cantidades de nutrientes del agua residual y de proveer efluentes de buena calidad con tiempos de retención cortos. Su rendimiento de remoción de DBO, N y P es comparable con el del jacinto de agua.

2.14.6 Microorganismos

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La

biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.

Altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.

Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante años.

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

2.14.7 Animales

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados.

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus consumiendo materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significantes de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos también atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas, pájaros, y mamíferos. Los humedales construidos atraen variedad de pájaros, incluso patos silvestres.

2.14.8 Realce de la estética y paisaje

Aunque los humedales son principalmente sistemas de tratamiento, proporcionan beneficios intangibles aumentando la estética del sitio y reforzando el paisaje. Visualmente, los humedales son ambientes extraordinariamente ricos. Introduciendo el elemento agua al paisaje, el humedal construido, tanto como el natural, agrega diversidad al paisaje. Pueden construirse humedales artificiales siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del sitio, hasta el punto de que algunos humedales para el tratamiento de agua son indistinguibles, a simple vista, de los humedales naturales. ^[11]

2.14.9 Consideraciones ambientales y de salud pública

La protección de la salud pública es el propósito fundamental del tratamiento de residuos y le sigue en importancia la protección del medio ambiente. Por tanto, es responsabilidad de los ingenieros proyectistas, investigadores científicos y gestores públicos involucrados, asegurar que los sistemas de tratamiento logren esta meta.

Dos aspectos convergentes propugnan para que los ingenieros consideren los procesos naturales como los sistemas de humedales artificiales. El primero es la demanda cada vez mayor de agua en un momento en que las fuentes más económicas ya están agotadas o están cerca de estarlo. El segundo aspecto es el volumen creciente de residuos biológicos y químicos que potencialmente entran en la red de aguas superficiales provenientes de las plantas de tratamiento de agua residual.

Desde este punto de vista y teniendo en cuenta que el costo para construir y operar instalaciones de tratamiento de agua residual con tratamiento avanzado en cuanto a DBO_5 y remoción de nitrógeno, es bastante alto comparado con el costo del tratamiento primario y secundario. La búsqueda de un acercamiento diferente para pulir el efluente, ha renovado el interés en la aplicación al terreno o a humedales artificiales de efluentes de instalaciones convencionales de tratamiento de agua residual. Los sistemas que son más "naturales" en el sentido de que en ellos influyen más las condiciones medioambientales naturales de temperatura, lluvia, luz solar, y acción del viento son alternativas útiles a los sistemas convencionales, ya que comparados con los sistemas convencionales, los

sistemas naturales usan menos energía eléctrica y requieren menos mano de obra para las labores de operación y mantenimiento.

Desde el punto de vista de salud pública y medioambiental, los sistemas naturales tienen potencialmente más puntos de contacto con el ambiente y con el público, debido a la mayor extensión de terreno que involucran.

La supervisión del efluente es complicada porque los indicadores de organismos (coliformes totales) no muestran claramente la magnitud de tratamiento del agua residual (por ejemplo remoción de organismos patógenos). Cualquier aplicación futura de agua residual a humedales artificiales debe estar libre de riesgos irrazonables para la salud pública. Puede controlarse el acceso público a estos sistemas cercando, de modo que en lo referente a salud pública, solo sea necesario monitorear el efluente y tener un adecuado cuidado con los operarios de las instalaciones.

Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforos, organismos patógenos, metales pesados, y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio, y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables (sobre todo hidrocarburos clorados).

Las consideraciones en cuanto a salud, se refieren principalmente a nitrógeno, metales, patógenos o trazas orgánicas. Estos contaminantes y los posibles efectos potenciales que causan mayor preocupación (ver anexo J, Tabla J.8).

Nitrógeno. El nitrógeno está limitado en el agua de boca para proteger la salud de los niños y puede limitarse en aguas superficiales para prevenir eutrofización. Puede eliminarse nitrógeno en estos sistemas mediante procesos de nitrificación/desnitrificación y posterior pérdida de gas a la atmósfera. La remoción de nitrógeno en sistemas de humedales artificiales está entre un 25 y un 85%.

Fósforo. La remoción de fósforo en humedales no es muy eficaz debido a las limitadas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. Los mecanismos principales para la remoción de fósforo son la captación por parte de las plantas y la retención en el terreno.

Patógenos. En lo referente a las aguas superficiales que recibirán la descarga del efluente del humedal artificial, los patógenos de interés en los sistemas de tratamiento acuáticos son bacterias, y virus. Generalmente no es una preocupación la contaminación del agua subterránea, ni la transmisión a otros lugares vía aerosoles. El agua subterránea no se contaminará en sistemas que estén sellados por una arcilla impermeable o por una barrera de material sintético.

La investigación se ha dirigido a la transmisión de enfermedades parasitarias a los animales y el hombre por medio de la aplicación al terreno de aguas residuales municipales y lodos de depuradora. Estudios significativamente completos indican que los parásitos no aumentan en el ganado que ha estado en contacto con pastos regados por agua residual. Los resultados son consistentes en varias regiones del mundo, como Estados Unidos, Polonia y Australia. Estos estudios, aunque no han sido realizados en sistemas de humedales artificiales, indican que el potencial de problemas serios no parece estar presente.

Bacterias. La fauna puede verse afectada por los sistemas de humedales, ya que los lodos anaerobios pueden contener el organismo causante del botulismo (*Clostridium botulinum*). El control de este patógeno puede lograrse, en gran medida, por puntos de dispersión múltiples para el humedal del tipo FWS. Este patógeno no es un problema para las aves salvajes en humedales tipo SFS.

Las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual son: el contacto directo con el agua residual, transporte de aerosoles, cadena alimenticia, e inadecuado trato del agua de bebida.

Investigaciones en Santee, California, con sistemas de flujo subsuperficial (SFS), han estudiado la contribución de la vegetación a la eliminación de bacterias de coliformes en humedales artificiales. Cada lecho del humedal consistió en una impermeabilización plástica y una excavación de 18,5 m de largo x 3,5 m de ancho y 0,76 m de profundidad, con vegetación emergente que crece en arena gruesa. El flujo del afluente era agua residual municipal primaria. Los niveles de coliformes totales en el afluente eran de $6,75 \times 10^7$ NMP/100 ml y se redujeron a $5,77 \times 10^6$ NMP/100 ml (99% de reducción). El tiempo de residencia hidráulico era 5,5 días. El declive de la población de coliformes es debido a la sedimentación, filtración, y absorción. La luz del sol ha demostrado tener un efecto letal en los coliformes ^[14].

Midiendo la proporción de inactivación de bacterias de coliformes en bolsas selladas con incubación in situ debajo de la superficie de la arena gruesa de un humedal tipo SFS. El resultado fue que la proporción de inactivación a través del sistema del humedal era dos veces que la de uno

sin contacto con la vegetación. La diferencia indica que la mitad de la degradación se debe a la acción que la vegetación efectúa.

En California, donde la legislación es estricta respecto a los humedales naturales, los humedales artificiales presentan algunas ventajas sobre los naturales, ya que los efluentes finales pueden tratarse con cloro. La desinfección con cloro de efluentes de humedales artificiales puede producir aguas que se pueden reutilizar sin restricción, siempre que los niveles del coliformes totales puedan reducirse a < 2 NMP/100 ml (legislación referente a reutilización de aguas del estado de California) o $< 1000/100$ ml en el 80% de las muestras (recomendación de la Organización Mundial de la Salud). Hay una tendencia creciente de no usar cloro como un desinfectante en casos donde la formación de trihalometanos (THM) es probable. La desinfección del efluente del humedal con ultravioleta (UV) u ozono puede ser una alternativa ya que no produce THM.

Virus. Los virus en la mayoría de los sistemas del tratamiento son más resistentes a la inactivación que las bacterias. Se probó la eficacia de remoción de un sistema de SFS en Santee, California, con un indicador de polución viral (MS-2 bacteriófago) se informó un 98.3% en escala de demostración (800 m²) con una lecho de juncos y un tiempo de detención de 5,5 días. Esto involucró la plantación en el agua residual afluente de virus MS-2 y el estudio de la eficacia de remoción subsecuente. El virus MS-2 se escogió porque es un bacteriófago de ARN casi de igual tamaño que los entovirus y es más resistente a los rayos UV el calor y la desinfección que la mayoría de los virus entéricos ^[14].

Metales. Los metales pesados son contaminantes medioambientales comunes que se producen como resultado de actividades industriales,

comerciales y domésticas, y aunque las normas obligan a las industrias que vierten estos productos a alcanzar niveles de pretratamiento altos, la presencia o no en el agua residual, depende de la eficiencia del sistema de control de los vertidos industriales ^[14].

Las unidades de proceso convencionales de tratamiento primario y secundario en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales son inadecuadas para la remoción eficaz de metales pesados. Procesos avanzados, incluida la precipitación química, electrólisis, ósmosis inversa e intercambio iónico, son usados para el pretratamiento de fuentes conocidas de metales pesados en aguas residuales industriales. El uso de estos procesos para quitar concentraciones bajas de metales pesados en agua residual municipal tiene la desventaja de un costo de capital alto y unos costos de funcionamiento y mantenimiento también altos. Las desventajas adicionales pueden ser costos de energía eléctrica relativamente altos para la electrólisis y la ósmosis inversa y la producción de cantidades grandes de lodos voluminosos con un alto tiempo de decantación en los procesos de la precipitación químicos.

Por tanto, un proceso del tratamiento que precipita y retiene metales pesados en el área confinada de un humedal artificial logra el mismo nivel de remoción con menos mano de obra y menores costes de energía. El objetivo del tratamiento para los metales pesados es quitar los metales del medio ambiente y de la cadena alimenticia, sobre todo la cadena alimenticia en ríos y aguas marinas.

El humedal artificial del tipo (SFS) en Santee, California recibió agua residual municipal que se cargó con cobre, zinc y cadmio. Con un tiempo de retención hidráulico de 5,5 días, las eficiencias de remoción fueron

respectivamente 99, 97, y 99%. La remoción se atribuyó a los fenómenos de precipitación - adsorción. La precipitación química es reforzada por el metabolismo del humedal, sobre todo de las algas que reducen los niveles de CO₂ disuelto y aumentan el pH ^[14].

2.14.10 Trazas orgánicas

Las aguas residuales municipales e industriales contienen concentraciones variables de compuestos orgánicos sintéticos. Durante 1960-1970, los investigadores medioambientales se dieron cuenta de la tendencia de algunos contaminantes orgánicos a resistirse a ser removidos en el tratamiento convencional del agua residual y persistir en el ambiente por periodos muy largos. Una observación más perturbadora era que esos compuestos tóxicos persistentes, fueron encontrados acumulándose en las cadenas alimenticias debido a la tendencia de los compuestos de ser liposolubles. Un compuesto puede desaparecer de la solución acuosa a través de varios mecanismos. Entre estos están: las alternativas biológicas, químicas, fotoquímicas, y los procesos fisicoquímicos como absorción, sedimentación, y evaporación. La degradación biológica de compuestos orgánicos fácilmente degradables se considera el más importante de éstos.

Se piensa que la absorción de trazas orgánicas por la materia orgánica y las partículas de la arcilla presentes en el sistema de tratamiento, es el principal mecanismo fisicoquímico para la remoción de compuestos refractarios en los humedales.

2.14.11 Rendimiento esperado

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo.

Los mecanismos básicos de tratamiento son los antes citados, e incluyen sedimentación, precipitación química, absorción, e interacción biológica con la DBO y el nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación. Si no se practica la poda, se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal. Los nutrientes y otras sustancias asociadas a esta fracción refractaria se considera que son eliminados permanentemente del sistema.

En la siguiente figura se pueden ver los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

En la Figura se pueden ver los valores típicos de concentraciones de entrada y salida de un sistema de humedales artificiales (Experiencia a escala piloto con un sistema tipo SFS, cerca de Sidney, Australia). El análisis de la figura revela que los sistemas de plantas emergentes sembradas sobre arena gruesa pudieron reducir de forma significativa los SS, la DBO₅, y el nitrógeno. La remoción de fósforo es baja, lo cual es consistente con las experiencias de otros investigadores con sistemas basados en piedra y arena.

2.14.12 Remoción de DBO

En los sistemas de humedales la remoción de materia orgánica sedimentable es muy rápida, debido a la quietud en los sistemas tipo FWS y a la deposición y filtración en los SFS, donde cerca del 50% de la DBO aplicada es removida en los primeros metros del humedal.

Esta materia orgánica sedimentable es descompuesta aeróbica o anaeróbicamente, dependiendo del oxígeno disponible. El resto de la DBO se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal y continúa siendo removida del agua residual al entrar en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema. Esta actividad biológica puede ser aeróbica cerca de las raíces y rizomas en los SFS, pero la descomposición anaerobia prevalece en el resto del sistema.

En climas relativamente cálidos, la remoción de DBO observada durante los primeros días es muy rápida y puede ser razonablemente aproximada a una relación de flujo a pistón de primer orden. La remoción subsiguiente está más limitada y se cree que está influida por la producción de DBO residual debida a la descomposición de los residuos de las plantas y otra materia orgánica natural presente en el humedal.

Esto hace a estos sistemas únicos, ya que se produce DBO dentro del sistema y a partir de fuentes naturales, por tanto, no es posible diseñar un sistema para una salida de cero DBO, independientemente del tiempo de retención hidráulica. En términos generales la DBO del efluente puede estar entre 2 y 7 mg/l, lo que explica los valores bajos.

La DBO₅ a la entrada contra la DBO₅ a la salida para sistemas de humedales en Norte América recibiendo agua residual de variada calidad, desde primaria hasta terciaria. Todos los valores del efluente están por debajo del nivel de referencia de 20 mg/l, y esto puede lograrse sin tener en cuenta la concentración de la entrada. En Europa muestran esencialmente la misma relación para concentraciones de DBO₅ a la entrada con un valor superior a 150 mg/l.

2.14.13 Remoción de sólidos suspendidos

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los dos tipos de humedales artificiales, produciendo efluentes con concentraciones inferiores a 20 mg/L que es el valor de referencia. Al igual que ocurre con la remoción de DBO, se alcanzan valores siempre por debajo del valor de referencia, independientemente de la concentración de entrada. Solamente una instalación del tipo SFS sobrepasó este valor, debido a un cortocircuito causado al presentarse flujo superficial, con lo que el efluente alcanzó una concentración de 23 mg/l.

La remoción de sólidos en humedales es más o menos rápida, y se estima que ocurre en gran parte entre el 12 al 20 % inicial del área.

En el diseño de humedales del tipo SFS, es importante tener en cuenta las posibles obstrucciones parciales del substrato. Esto ocasionaría una reducción de la conductividad hidráulica del medio, que resultaría en un flujo superficial que como es lógico no es acorde con las condiciones de diseño y el adecuado funcionamiento del sistema. Estas obstrucciones se presentan principalmente en instalaciones que tienen la entrada del agua sumergida,

por lo que es recomendable que siempre se coloque sobre la superficie del medio.

2.14.14 Remoción de nitrógeno

La remoción de nitrógeno puede ser muy efectiva en ambos tipos de sistemas de humedales artificiales y los principales mecanismos de eliminación son similares para los dos casos. Aunque ocurre la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, solo una pequeña fracción del nitrógeno total puede ser eliminada por esta vía. Experiencias en Norteamérica demuestran que solamente entre el 10 y el 15% del nitrógeno eliminado se retira del sistema usando la poda de las plantas. La remoción de nitrógeno en humedales puede alcanzar valores por encima del 80% ^[17].

Puede medirse el nitrógeno que entra en sistemas de humedales como nitrógeno orgánico y amoniacal. La combinación de estas dos se representa como Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)], nitrito y nitrato.

En los sistemas de humedales, el potencial de remoción del nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse, por lo menos se requieren dos o tres etapas del crecimiento de las plantas, sistemas de raíces, capa de residuos, y materiales del bentos, para alcanzar el equilibrio.

Los tanques sépticos, sistemas del tratamiento primarios, y efluentes de lagunas facultativas normalmente no contienen nitratos, pero pueden tener niveles significantes de N orgánico y amoniacal. Durante los meses de verano calurosos, las lagunas facultativas pueden tener niveles bajos de N amoniacal en el efluente, pero a menudo contienen altas concentraciones de

N orgánico asociadas con las algas que salen con el efluente. Los efluentes de sistema de tratamiento secundarios aireados tienen niveles bajos de N orgánico típicamente pero contienen concentraciones significativas de N amoniacal y nitratos. Los sistemas con intensidad alta o aireación prolongada pueden tener la mayoría del nitrógeno en forma de nitrato.

El N orgánico que entra en un humedal esta típicamente asociado con materia particulada como sólidos orgánicos del agua residual y/o algas. La remoción inicial de estos materiales como sólidos suspendidos es más o menos rápida. Mucho de este N orgánico sufre descomposición o mineralización y descarga entonces nitrógeno en forma amoniacal al agua. También pueden ser una fuente de N, los detritos de las plantas y otros materiales orgánicos producidos naturalmente en el humedal, produciendo una descarga estacional de amoníaco. Una aproximación conservadora al diseño, sería asumir que la mayor parte de NTK que entra al sistema, está en forma de nitrógeno amoniacal.

Se cree que la mejor forma para remover el amoniaco en ambos tipos de humedales artificiales es la nitrificación biológica seguida por desnitrificación. La oportunidad de nitrificar existe cuando se tienen condiciones aeróbicas, se tiene la suficiente alcalinidad y la temperatura adecuada, y después de que la mayoría de la DBO ha sido removida, para que los organismos nitrificantes puedan competir con los organismos heterótrofos por el oxígeno disponible.

La experiencia ha demostrado que la condición limitante para la nitrificación en los humedales es la disponibilidad de oxígeno. La relación teórica indica que son necesarios 4,6 g de oxígeno para oxidar 1 g de nitrógeno amoniacal.

La disponibilidad de oxígeno está relacionada con el alcance de la penetración de las raíces y la eficiencia en la transferencia de oxígeno de estas raíces en el caso de los SFS. Por tanto, es de gran importancia si se quiere tener una buena eficiencia en el proceso de nitrificación que a la hora de diseñar humedales de flujo subsuperficial se hagan con una profundidad igual a la potencial penetración de las raíces. Cualquier flujo bajo la zona de las raíces sería anaeróbico y la nitrificación en esta zona no sería posible. En climas o estaciones cálidas serán necesarios tiempos de retención hidráulica de 6 a 8 días para lograr los niveles de nitrificación deseados.

En la Figura 2.13 se compara entrada y salida de amoníaco en los mismos sistemas de humedales artificiales de los gráficos anteriores. La línea inclinada que cruza el gráfico indica el momento en que la entrada y la salida de amoníaco son iguales, es decir, una remoción de cero en el sistema. Los puntos que se encuentran por encima de la línea indican que existe una producción neta de amoníaco dentro del sistema.

La fuente de este amoníaco extra se cree que es la mineralización del nitrógeno orgánico en el humedal, combinado con una insuficiencia de oxígeno e inadecuadas condiciones aeróbicas requeridas para la nitrificación con los tiempos de retención hidráulica de dichos sistemas.

La remoción de amoníaco es también dependiente de la temperatura. Durante los meses de verano la remoción es bastante buena, pero decrece a medida que baja la temperatura, siempre dependiendo de la temperatura del agua

Durante los meses de verano la remoción es bastante buena, pero decrece a medida que baja la temperatura, siempre dependiendo de la temperatura del agua.

La alcalinidad es necesaria para dar lugar a las reacciones biológicas de nitrificación. Está teóricamente aceptada para diseño una relación de 7.1 g de alcalinidad (como CaCO_3) por cada gramo de NH_4^+ - N oxidado. Es prudente ser un poco conservador y usar 10 g de alcalinidad por cada gramo de nitrógeno amoniacal a causa de las pérdidas externas. Típicamente las aguas residuales municipales deben tener alcalinidad suficiente, pero puede ser necesaria una adición extra para lograr niveles verdaderamente bajos de amoníaco y para algunas aguas residuales industriales con baja alcalinidad. Más o menos la mitad de la alcalinidad puede ser removida cuando el nitrato producido es biológicamente reducido por desnitrificación.

La remoción de nitratos (NO_3) por vía de una desnitrificación biológica en humedales, requiere condiciones anoxicas, una adecuada fuente de carbono y condiciones adecuadas de temperatura.

La presencia de condiciones anoxicas esta casi garantizada en muchos humedales artificiales y la temperatura del agua depende del clima local y de la estación, así que la disponibilidad de una fuente adecuada de carbono tiende a ser el factor que controla el proceso.

El metano y otras fuentes de carbono fácilmente degradables son usadas comúnmente en procesos convencionales de desnitrificación, pero esta solución no es aplicable desde el punto de vista de los costos a los humedales, así que la desnitrificación dependerá de los organismos

presentes en el agua residual o que se encuentren de forma natural en el humedal.

Se dijo antes que para la nitrificación se requiere que se elimine previamente mucha de la DBO, así que puede que la disponibilidad original de carbono orgánico ya no exista en el momento de la desnitrificación. Se estima que entre 5 y 9 g de DBO se requieren para desnitrificar 1 g de NO_3^- - N.

La otra gran fuente de carbono en los humedales son los residuos de las plantas y otros organismos naturales presentes en el bentos. Si las condiciones de temperatura son favorables, esto podría ser suficiente para una desnitrificación total, para cargas orgánicas y de nitrógeno usadas típicamente en los humedales. Los sistemas de flujo libre tienen una ventaja en este apartado, ya que la caída de hojas sobre el agua hace que sean susceptibles de tener una descomposición más rápida, comparada con los sistemas de flujo subsuperficial donde estos residuos yacen sobre la superficie del medio.

2.14.15.1 Remoción de fósforo

La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. Algún trabajo experimental ha usado arcilla expandida y adición de óxidos de hierro y aluminio; algunos de estos tratamientos pueden ser prometedores pero las expectativas a largo plazo no se han definido aún. Algunos sistemas en Europa usan arena en lugar de la grava para aumentar la capacidad de la retención del fósforo, pero este

medio requiere instalaciones muy grandes, debido a la reducida conductividad hidráulica de la arena comparada con la grava. Si una importante remoción de fósforo es requisito del proyecto, entonces se necesitará un área de terreno muy grande o métodos de tratamiento alternativos.

La línea inclinada en la figura 2.15 representa la condición donde la entrada iguala la salida, rendimiento cero. Cuatro de los puntos están un poco por encima de la línea punteada, pero la mayoría indican una eficiencia de entre el 30 y el 50%. Puede esperarse que estas eficiencias se mantengan a largo plazo durante todo el periodo de diseño del sistema.

2.14.15.2 Remoción de metales

Los mecanismos de eliminación de metales en humedales artificiales son similares a los descritos anteriormente para el fósforo, incluyendo asimilación por parte de las plantas, adsorción, y precipitación. Como los sedimentos orgánicos e inorgánicos están aumentando continuamente (a una velocidad lenta) en los humedales, la disponibilidad de sitios de adsorción frescos esta también aumentando. Los dos tipos de humedales artificiales tienen la misma capacidad potencial de remoción de metales y esta capacidad se mantiene durante todo el periodo de diseño del sistema.

Los metales pueden acumularse en los humedales artificiales, pero las concentraciones que normalmente tienen las aguas residuales no representan una amenaza para los valores del hábitat o para los posibles usos a largo plazo.

2.14.15.3 Remoción de coliformes fecales

Los humedales artificiales son en general, capaces de una reducción de coliformes fecales de entre uno a dos logaritmos con tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días que en muchos casos no es suficiente para satisfacer los requisitos de la descarga que a menudo especifican < 200 NMP/100 ml. Tiempos de retención superiores a 14 días serían necesarios para lograr reducciones de 3 o 4 logaritmos.

Cuando se presentan eventos intensos de lluvia, los picos de caudal influyen negativamente en la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Como resultado, la mayoría de los sistemas utilizan alguna forma de desinfección final. En la instalación antes citada, que cuenta como medio con grava fina de río los coliformes fecales se han reducido de 8×10^4 NMP /100 ml a 10/100 ml de media.

2.14.16 Operación, mantenimiento y control

2.14.16.1 Operación y Mantenimiento

La operación es muy importante si quieren obtenerse buenos resultados. Por tanto, debe contarse con un plan de operación y mantenimiento que debe escribirse durante la etapa de diseño final del sistema. La operación y mantenimiento debe enfocarse a los factores más importantes para el rendimiento del tratamiento:

Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.

Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.

Mantener un ambiente saludable para los microbios

Manteniendo un crecimiento vigoroso de vegetación.

2.14.16.2 Hidrología

El humedal debe ser verificado periódicamente para asegurar que el agua se está moviendo a través de todas las partes del humedal y que el aumento de residuos no ha bloqueado caminos de flujo, y no se han desarrollado áreas de estancamiento que aumentan la probabilidad de mosquitos. Deben verificarse flujos y niveles de agua regularmente. Deben verificarse los humedales SFS para ver que no se está desarrollando flujo en la superficie.

2.14.16.3 Estructuras

Deben inspeccionarse diques, vertederos, y estructuras de control de agua de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo. Los humedales deben verificarse después de subidas importantes de caudal o después de la formación de hielo, ya que pueden afectar el substrato, particularmente a las estructuras de salida. Cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosos.

2.14.16.4 Vegetación

El manejo del nivel del agua es la clave para el éxito de la vegetación. Mientras las plantas del humedal pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse cuidado de no exceder los límites de tolerancia de las especies usadas durante periodos largos de tiempo. La profundidad del agua puede aumentarse durante los meses fríos aumentando así el tiempo de retención y protegiendo contra las heladas. La cubierta vegetal en los diques debe mantenerse para desarrollar una capa de tierra buena con sistemas de raíz extensos que resisten a la erosión.

La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y deben quitarse las especies invasoras. Los herbicidas no deben usarse excepto en circunstancias extremas, y sólo entonces y con cuidado extremo, dado que pueden dañar severamente la vegetación emergente.

2.14.16.5 Ratas

Las ratas y otros roedores pueden dañar los diques y la impermeabilización. Por tanto, deben preverse las medidas necesarias para evitar que esto ocurra, hasta el punto de que puede ser necesario atrapar y retirar los animales hasta que pueda instalarse una pantalla de alambre. Las madrigueras también pueden ser selladas poniendo bentonita en la entrada.

2.14.16.6 Mosquitos

Los mosquitos son comunes en los humedales naturales y pueden esperarse en humedales artificiales. La mejor manera de evitar problemas con mosquitos en los humedales artificiales es crear condiciones en el humedal que no sean atractivas a los mosquitos o que no conduzcan al desarrollo de larvas. Lugares abiertos con agua estancada son un excelente hábitat para los mosquitos, y los nutrientes del agua estancada, son ideales para el desarrollo larval. Cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.

El control de mosquitos con insecticidas, aceites, y agentes bacterianos como Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) es a menudo difícil en humedales artificiales. El uso de insecticidas en humedales artificiales con cantidades grandes de materia orgánica es ineficaz porque la materia orgánica los adsorbe y porque se diluyen rápidamente o son degradados por el agua que viaja a través del humedal. Los tratamientos químicos deben usarse con cautela porque se corre el riesgo de contaminar el humedal y el cauce receptor.

2.14.16.7 Control

La supervisión es una herramienta operacional importante que:

- Proporciona datos para mejorar el rendimiento del tratamiento
- Identifica problemas

- Documenta la acumulación de sustancias potencialmente tóxicas antes de que sean bioacumulables
- Determina el cumplimiento de los requisitos reguladores.

El control necesita medir si el humedal está obteniendo los objetivos y para indicar su integridad biológica. Esta supervisión permite identificar los problemas temprano, cuando la intervención es más eficaz. Las fotografías pueden ser inestimables documentando estas condiciones. Deben tomarse fotografías cada determinado tiempo en las mismas condiciones, localizaciones y con el mismo ángulo de visión.

El nivel de detalle del control dependerá del tamaño y la complejidad del sistema de humedales y puede cambiar cuando el sistema madura y se conoce mejor su comportamiento. Los sistemas ligeramente cargados que han estado operados satisfactoriamente sólo necesitarían ser verificados una vez al mes y después de cada tormenta importante. Aquellos que están muy cargados requerirán una supervisión más frecuente y detallada.

2.14.16.8 Control para cumplir exigencias de descarga

El control para cumplir con las limitaciones del permiso de descarga representa el mínimo para el muestreo y análisis. La frecuencia del muestreo y los parámetros a medir dependerán de dichas exigencias.

2.14.16.9 Control del rendimiento del sistema

El rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar:

Carga hidráulica

Volúmenes de entrada y de salida

Variación de la calidad del agua entre la entrada y la salida

La efectividad en la remoción de contaminantes puede determinarse mediante la diferencia entre la carga a la entrada (volumen de entrada x concentración del contaminante) y la de salida (volumen de la descarga x concentración del contaminante). Los parámetros de interés pueden ser:

DBO

Nitrógeno

Fósforo

Sólidos suspendidos totales

Metales pesados

Bacterias (totales o coliformes fecales)

Si el agua residual pudiera contener contaminantes tóxicos, como pesticidas o metales pesados, deben analizarse los sedimentos una o dos veces al año para supervisar el aumento potencial de estos contaminantes en los sedimentos del humedal. El efluente debe analizarse durante las tormentas importantes para asegurar que están reteniéndose los sedimentos en el humedal. El agua subterránea también debe supervisarse una vez o dos veces al año para asegurar que el humedal no la está contaminando.

2.14.16.10 Control de la salud del humedal

Los humedales deben controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Debe supervisarse la vegetación periódicamente para evaluar su salud y abundancia. Para humedales que no reciben cargas altas, la supervisión de la vegetación no se necesita que sea cuantitativa. Normalmente bastará con observaciones cualitativas. Los sistemas grandes y aquéllos que están muy cargados requerirán ser supervisados más frecuente, y de forma cuantitativa. En general, esta supervisión debe ser más frecuente durante los primeros cinco años después de la instalación del sistema.

La composición de las especies y densidad de las plantas se determina fácilmente, inspeccionando parcelas cuadradas, normalmente de 1 m x 1 m, dentro del humedal. Los cambios a tener en cuenta incluyen un aumento en el número de especies no deseadas o agresivas, una disminución en la densidad de la capa vegetativa, o señales de enfermedad en las plantas.

La vegetación del humedal construido está sujeta a cambios graduales de año en año, así como en los humedales naturales. Puede haber tendencia a que algunas especies mueran y sean reemplazadas por otras. Dado que los cambios vegetativos son a menudo lentos, no son obvios a corto plazo y, por tanto, es esencial mantener buenos registros.

El aumento de los sedimentos acumulados así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando la

profundidad de está en el humedal y posiblemente alterando los caminos de flujo. Los sedimentos, la capa de residuos, y la profundidad del agua deben verificarse de vez en cuando.

2.14.16.11 Ventajas

Los humedales artificiales son técnica y económicamente factibles para tratar aguas residuales por varias razones:

- Son menos costosos que otras opciones de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos. (energía y suministros)
- La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.
- Los humedales soportan bien las variaciones de caudal.
- Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.
- Además:
- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.
- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos.
- Son una aproximación sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor del público.

2.14.16.12 Limitaciones

También existen limitaciones respecto al uso de humedales artificiales:

Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con humedales puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible.

El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional. El rendimiento del sistema puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.

Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos.

Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.

Además, el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales es de reciente desarrollo y no existe aún un consenso sobre el diseño óptimo del sistema y no se cuenta con suficiente información sobre el rendimiento a largo plazo.

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EN ESTUDIO

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

El sistema de tratamiento de aguas servidas en estudio se encuentra dentro de las instalaciones del El Auto Motel New, el cual se encuentra ubicado en la margen izquierda de la Vía Alternativa Barcelona-Puerto La Cruz, en el Sector Pele el Ojo, Municipio Bolívar, del Estado Anzoátegui, en un lote de terreno de 20.078,50 m² [16].

Este sistema cuenta básicamente con un tratamiento de dos pozos sépticos y un humedal construido, las aguas servidas generadas por las 100 habitaciones del Automotel y su oficina administrativa producen teóricamente un gasto promedio total de 54,464 l/d (0,63 l/s), el humedal fue diseñado para que soportara un caudal máximo de 1,51 l/s y 130,46 l/d [16]. La secuencia de los procesos que están en el sistema de tratamiento evaluado se muestra en el esquema de la figura 3.1

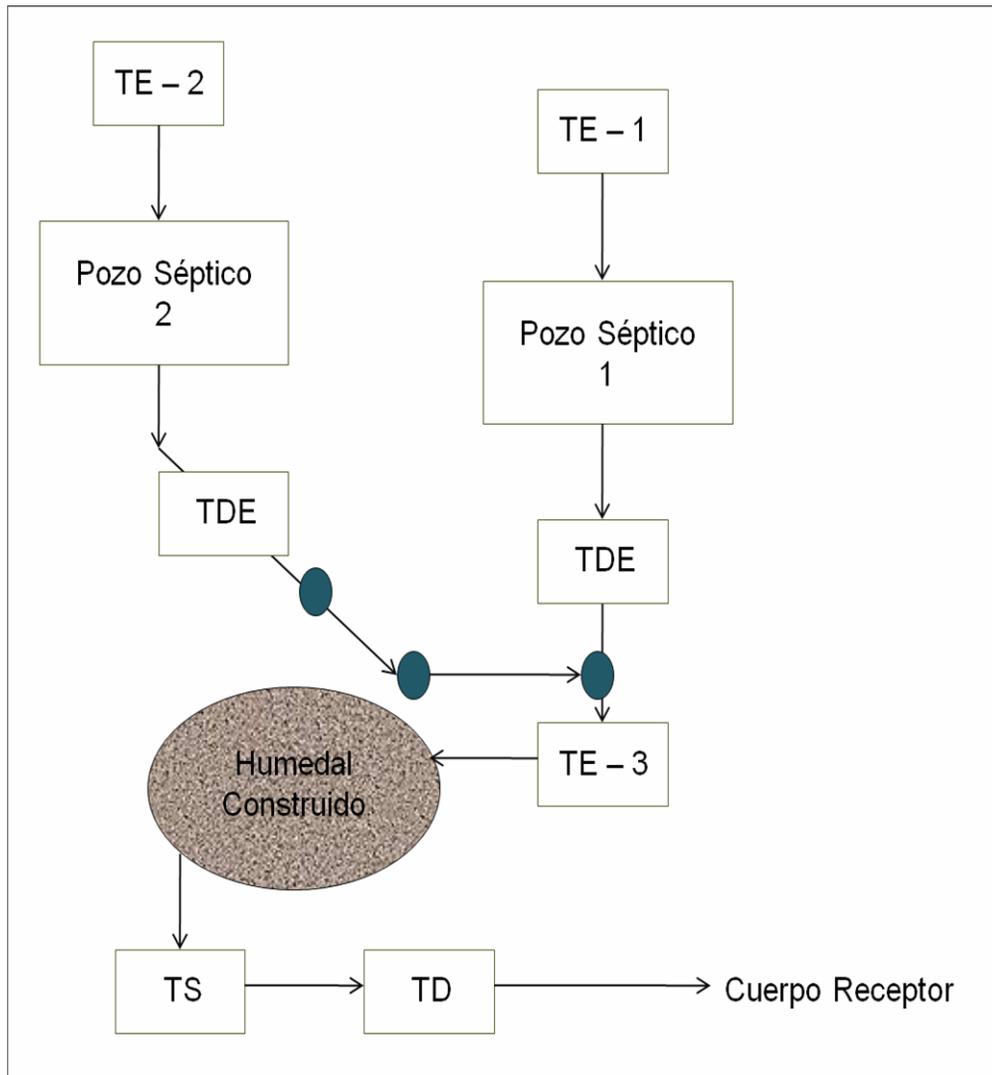


Figura 3.1 Esquema del recorrido del flujo en todo el sistema. Fuente propia.

Una vez rebosadas las cámaras secundarias de los pozos sépticos, el efluente es conducido a través de tuberías de pvc de diámetro 160 mm hasta una tanquilla de distribución, de forma rectangular, de concreto armado que mide en planta 1,30 m de ancho por 1,90 m de largo y de profundidad 0,76

m, cabe destacar que en el fondo de la misma a 1,00 m de distancia horizontal se encuentra un muro para rebose de By Pass o salida de emergencia hecho en concreto armado (de 1,30 m ancho por 0,20 m de altura).

En la tanquilla de distribución se encuentra una cesta plástica para la retención de sólidos que posiblemente pudieran venir desde los pozos sépticos y que pueden obstaculizar la continuidad del flujo por el sistema.

El efluente proveniente de la tanquilla de distribución pasa al humedal por gravedad a través de una tubería de pvc de 160 mm de diámetro.

Tratamiento Preliminar:

La primera etapa del proceso de tratamiento o tratamiento preliminar consta de tanquillas de distribución ubicadas antes de los pozos sépticos, cada una de estas cuentan con una reja, cuya función es retener sólidos de tamaño considerable a fin de garantizar un mejor funcionamiento del séptico y evitar la obstrucción del sistema.

Tratamiento primario con pozos sépticos:

Luego de las tanquillas de distribución el sistema cuenta con dos pozos sépticos, cada uno de ellos de doble cámara y estos cuentan con una capacidad de 25 m³.

El tiempo de retención hidráulica del afluente es de aproximadamente tres días ($T_{rh} = 3 \text{ d}$) tomando en cuenta un factor de pico de caudal de 3 ^[16].

Tratamiento secundario con humedal construido de flujo subsuperficial

Según los planos del proyecto, el humedal construido consta de una fosa de 33,70 m de largo y 0,64 m de profundidad hecha en concreto armado, posee una pendiente longitudinal de 0,005. El fondo de la fosa presenta un colchón de grava de 0.50 m de altura, donde van sembradas las distintas especies de plantas, los taludes están revestidos de concreto hidrófugo con espesor de 7 cm, sin juntas de dilatación.

Alrededor el humedal presenta una acera de 0,50 m de ancho y un sistema de drenaje superficial de forma de sección triangular, que se conecta luego al drenaje de la vía.

En el punto de entrada al humedal se observa una tanquilla donde se encuentra una válvula de compuerta, cuya función es regular el flujo que llega al humedal en casos de emergencias o mantenimiento. También se observa en dicho punto que el agua servida es dispuesta en el humedal por medio de una tubería de pvc 160 mm de diámetro y posteriormente se encuentran mallas plásticas para retener los sólidos que aun estén presentes en el afluente. .

La zona de tratamiento del humedal posee un área superficial de 251 m² y está compuesta de un lecho de grava con unos diámetros que oscilan entre 20 – 30 mm y plantas acuáticas específicas colocadas a partir de 1,50 m del punto de entrada al humedal.

Alrededor del punto final del humedal se encuentra una tubería de pvc de 160 mm de diámetro con orificios de 0,15 cm en la parte superior de la misma, su longitud es de aproximadamente 5,00 m y esta conduce el agua tratada (efluente) hasta una tanquilla de salida que al igual que la de inicio posee una válvula de compuerta.

Como último punto del sistema en estudio se encuentra primero una estructura en forma de cascada cuya función es la aireación del agua tratada y posteriormente una tanquilla de descarga conectada hasta el canal.

3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL HUMEDAL

En la siguiente tabla se resumen las consideraciones básicas que fueron tomadas en cuenta para el dimensionamiento y diseño del humedal, según el proyecto original.

Tabla N°3.1 Parámetros de diseño ^[16].

DESCRIPCIÓN	VALORES RECOMENDADOS
PROFUNDIDAD	
Medio filtrante (Valor Típico)	0,5 a 0,6 m
Agua (Valor Típico)	0,4 a 0,5 m
Longitud	Mínimo : 15 m
Ancho	Máximo: 61 m
Pendiente del fondo	0,5 a 1%
Pendiente de la superficie	Nivelada o cerca de 0 %
MEDIO FILTRANTE	
Debería ser lavado para estar limpio y libre de partículas de suelo, ser lo más redondeado y uniforme posible para garantizar el mayor volumen de vacíos posibles y de un material resistente a la rotura.	0,5 a 0,6 m
Zona de entrada (L= 2 m)	40 a 80 mm de diámetro
Zona de tratamiento	20 a 30 mm de diámetro
Zona de salida (L= 1 m)	40 a 80 mm de diámetro
Medio para el sembrado de plantas(parte superior de 10 cm de profundidad)	0,5 a 1%
Misceláneos	Utilizar al menos dos celdas en paralelos. Utilizar un mecanismo de entrada capaz de balancear el caudal de entrada. Utilizar un mecanismo control de salida ajustable capaz de llenar y drenar el sistema.
ÁREA SUPERFICIAL	
DBO	1,6 a 13 g/m ²
SST	20 g/ m ² para obtener un efluente de 30 mg/L de SST
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (k)	
Primeros 30% de la longitud	1% de K del agua limpia (K=100000 m/d)
Últimos 70% de la longitud	10% de K del agua limpia (K=100000 m/d)

3.3 SITUACION ACTUAL DEL HUMEDAL

Actualmente el humedal en estudio tiene cierto grado de deterioro en alguna de sus estructuras, como por ejemplo la tapa metálica de la tanquilla de distribución.

Se observó que en el punto de entrada las mallas de retención de sólidos no están en buen estado y no tiene el mantenimiento indicado.

En una parte de la zona de tratamiento se observa que el flujo es superficial se presume que pudiera ser por exceso de sólidos acumulados, mala distribución de la grava y falta de monitoreo en ese sector, estos son factores que obstaculizan el flujo en todo el humedal y hace que trabaje de una forma que no fue diseñado.

También se observó que la distribución de las especies de plantas no es la correcta ya que no se consideró las separaciones establecidas en el diseño original del humedal.

En cuanto a la variedad de las especies de plantas, se observó que existen cinco especies más de la indicada al proyectarse el humedal.

A pesar de las irregularidades que se observaron en el humedal, el efluente no ha sido afectado en cuanto a la calidad del tratamiento, ya que en el punto de salida el agua tratada no presenta olores desagradables y una turbiedad muy baja.

CAPÍTULO IV

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase se procedió a un amplio chequeo en documentaciones, libros, revistas, tesis y trabajos científicos concernientes al tema en estudio, y al material contenido actualmente en la red global de información (internet) de elementos teóricos que permitieron el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Primeramente se visitaron las instalaciones del Auto Motel New, de las cuales se obtuvo la información sobre el sistema de aguas servidas de su establecimiento, permitiendo la ubicación de los pozos sépticos, tanquillas, humedal y descarga del efluente. Por otra parte, también se contó con el apoyo del Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad De Oriente, que aportó información sobre como caracterizar las aguas residuales, así como la elaboración de los ensayos para los distintos parámetros seleccionados.

Selección de parámetros

Para lograr una eficiente caracterización del agua, se seleccionaron diversos parámetros de origen orgánico y otros de origen inorgánico, tales como: Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno

(DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Aceites y Grasas (A y G), Fósforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Coliformes Totales y Fecales (CT y CF).

4.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN LA ENTRADA DEL HUMEDAL

Este método consistió en la medición de caudales de forma manual en la entrada del humedal, utilizando un cronómetro para la contabilización del tiempo y un envase plástico para la captación del volumen. Estas mediciones se realizaron durante siete (7) días consecutivos a partir de las 6:00 a.m hasta las 6:00 p.m, con un intervalo de tiempo entre mediciones de tres (3) horas, para un total de cinco (5) mediciones diarias en el punto de entrada. (ver anexo D, Tabla D.1 y ver anexo E y Tabla E.1). La medición del caudal permitió el diseño del plan de muestreo.

Para el cálculo de los caudales simplemente se dividió el volumen obtenido entre el tiempo de captación del agua. Los resultados fueron graficados en función del tiempo en que se tomo la muestra (ver anexo E, tablas E.2- E.3 y Grafía E.1), obteniendo así el caudal máximo y mínimo de entrada y las horas más representativas, todo esto ayudo también diseñar el plan de muestreo adecuado. Cabe destacar que se realizo tres mediciones en cada hora de aforo y se tomo el promedio de estas mediciones para obtener un caudal más exacto.

Debido a problemas de logística y seguridad en la zona de estudio, no se pudieron hacer las mediciones durante intervalos de cada hora de formas continuas, que era lo más recomendable, para obtener un caudal medio más exacto, por lo que se promediaron todos los caudales de las mediciones realizadas durante los muestreos.

4.3 DISEÑO PARA EL PLAN DE MUESTREO PARA LA MEDICION DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

El plan de muestreo se baso en el análisis de la variación de los caudales de aguas servidas entrantes al humedal. Este análisis se realizó durante siete días como se explico anteriormente.

Se aplicaron métodos que permitieron la recolección, transporte y almacenamiento de las muestras y el análisis de las mismas. La caracterización de las aguas residuales implicó un programa de muestreo adecuado para asegurar la representatividad de las muestras y un análisis de laboratorio conforme a lo establecido en los métodos estandarizados^[9].

El plan de muestreo de la evaluación involucro los siguientes criterios:

- Tiempo de muestreo
- Selección de los puntos de muestreo
- Determinación de parámetros
- Tipo de muestreo
- Método de preservación de muestra
- Cronograma de recolección de muestra

El proceso de captación de la muestra compuesta se realizó en un intervalo de tiempo de doce (12) horas, una muestra cada tres (3) horas con una frecuencia semanal y por un periodo de ocho semanas aproximadamente, comenzando en el mes de Marzo y terminando en el mes de Mayo.(ver anexo E, Tabla E.1)

Pasos para la determinación del volumen de muestra ^[18].

1.) Volumen de muestreo mínimo requerido ^[9].

DBO	1000 ml
DQO	100 ml
Nitrógeno	900 ml
Fósforo	100 ml
Sólidos	200 ml
Coliformes	100 ml
pH	0 ml
Temperatura	0 ml
	<hr/>
TOTAL	2400 ml

2.) Caudales promedios en semana de aforo

$$Q = \frac{0,89 + 0,87 + 0,84 + 0,95 + 0,97 + 1,08 + 1,00 \text{ (l/s)}}{7}$$

$$Q = 0,943 \text{ l/s}$$

$$Q = 0,943 \text{ l/s} \times 86400 \text{ s/d}$$

$$Q = 81475,20 \text{ l/s}$$

3.) Volumen de flujo

$$V.\text{de Flujo} = \frac{\text{Volumen mínimo req}}{Q} \quad (4.1)$$

$$V.\text{de Flujo} = \frac{2400 \text{ ml}}{81475,20 \text{ l/d}} = 0,0295 \text{ ml} \quad (4.2)$$

$$V.\text{ de flujo} = 0,0295 \text{ ml/l} - \text{d}$$

4.) Número de muestras por día

Se tomaron 5 muestras por día una vez a la semana, separadas por un intervalo de tiempo de tres horas entre cada muestra, comenzando a las 6:00 am y terminando a las 6:00 pm.

$$N^{\circ} \text{ de muestras} = 5 \text{ muestras} \quad \left\{ \begin{array}{l} 6:00 \\ 9:00 \\ 12:00 \\ 3:00 \\ 6:00 \end{array} \right.$$

El día y la hora de la toma de muestra por semana vario por cada día y por cada hora de muestreo, tal como se muestra en la tabla E.1 del anexo E

5.) Se dividió el volumen de muestra por unidad de volumen de flujo por el número de muestras

$$V = \frac{V. de flujo}{N^{\circ} de muestreos} \quad (4.3)$$

$$V = \frac{0,0295 \text{ ml/l} - d}{5 \text{ muestras}}$$

$$V = 0,0059 \approx 0,006 \frac{\text{ml}}{\text{l}} - \frac{d}{\text{muestra}}$$

6.) Para calcular el volumen de muestra parcial a recoger se multiplicó e valor obtenido en el paso 5 por el caudal medio determinado en el respectivo muestreo.

Muestra de cálculo de la primera muestra del día N° 1

Q medio = 0,99 l/s

V. de muestra a recoger = 0,99 l/s x 0,006 ml/l – d/muestra

V. de muestra a recoger = 513,22 ml

4.3 PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO

4.3.1 Captación, manejo y preservación de muestras de aguas residuales

En el sitio de muestreo se tomaron las medidas de seguridad personal necesarias, como el uso de mascarillas, lentes, guantes de látex y batas de laboratorio, etc. Se realizó la medición de caudales de forma manual, con un envase plástico enjuagado previamente con agua del efluente del séptico (punto de entrada), se tomo una cantidad de muestra (ver fig. 4.1) a la cual se le realizó la medición de pH usando papel pH y temperatura por medio de un termómetro . Luego se determinó el volumen con un cilindro graduado, el volumen obtenido era utilizado para el cálculo del caudal. Una vez determinado el caudal medio entre los aforos realizados, se procedió a calcular el volumen de muestra a ser tomada, siguiendo los pasos mencionados anteriormente.

Para la preservación de la muestra, esta se almacenó en una jarra plástica (5 litros de capacidad), previamente esterilizada e identificada. La cual luego fue guardada en una cava con hielo. Una vez terminada esta etapa, se tomó una muestra en el punto de salida o efluente ubicado en la tanquilla de salida y se realizó el proceso de manera similar al anterior.(ver figura 4.1)



Figura 4.1 Medición de caudales y toma de muestra (punto de inicio).

Fuente propia.



Figura 4.2 Tanquilla de salida parte externa e interna (punto final donde se tomo la muestra). Fuente propia.

Finalizado el proceso de captación las muestras por día, esta fue homogenizada y para la acidificación se extrajo un volumen de 250 ml en un beaker, se le agrego ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) con un gotero midiendo con cinta reactiva de ph hasta obtener un $pH < 2$. Se almaceno un volumen de 100 ml en un envase de vidrio de color ambar y el volumen restante se coloco en un envase plástico.

Este procedimiento se realizó de igual forma con el recipiente de la muestra de salida. El proceso de acidificación no se realizó para todos los parámetros, solo para los que lo requerían. Por último se utilizó papel parafinado (parafilm) para sellar todos los envases y posteriormente colocarlos en cavas con hielo, para su preservación y conservación por un periodo no mayor a quince (15) horas, hasta realizar los respectivos análisis de laboratorio.

4.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos que se describen a continuación son los siguientes: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Fósforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Nitritos y Nitratos, Coliformes Totales y Fecales (CT y CF), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbidez y Temperatura^[17].

4.4.1. Demanda Química de Oxígeno (DQO) (SM 5220 B)

Método: Reflujo Cerrado – Colorimétrico

Equipos y Herramientas

- Viales de digestión preferiblemente tubos de borosilicato de 16x100 mm con tapa.

- Reactor de DQO. Marca: Hach. Capacidad: 0 – 150 °C. Apreciación: 0,2 °C.
- Espectrofotómetro. Marca: Perkin Elmer/Lambda 10.
- Capsulas de reacción de 10 ml.
- Destilador. Marca: Pobel 906. Capacidad: 7 l/día.
- Cilindro graduado. Capacidad: 10 ml. Apreciación: ±1ml Marca: Pyrex.
- Nevera. Marca: Magic Chef.
- Buretas. Capacidad: 25 ml y 50 ml Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.
- Pipetas graduadas. Marca: Pyrex. Capacidad: 5ml, 10ml, 25ml y 50 ml. Apreciación: ±0,01ml.
- Beaker. Capacidad: 100 ml. Marca: Pyrex.

Reactivos

- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Marca: Riedel – de Haën.
- Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de mercurio II (Hg_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de plata regente (Ag_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Ftalato ácido de potasio (PKH). Marca: Riedel – de Haën.

Soluciones

Solución de digestión.

A 500 ml de agua destilada, se agregaron 10,216 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) con grado par patrón primario, previamente secado a

103°C por dos horas, 167 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y 33,3 g de HgSO_4 . Se disolvió, se enfrió a temperatura ambiente y se diluyó a 1000ml en un matraz aforado.

Reactivo de ácido sulfúrico.

Se añadió sulfato de plata regente (Ag_2SO_4) al ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) en una relación de 5,5 g $\text{Ag}_2\text{SO}_4/\text{kg H}_2\text{SO}_4$.

Estandar de Ftalato ácido de potasio.

Se pulverizó suavemente y se seco a peso constante a 120°C. Se disolvió 0,8503g de PKH seco en 1 litro de agua destilada.

Calibración del espectrofotómetro

1. Se pesaron 0,8503 g de PHK seco, se colocó en un matraz aforado de un (1) litro de capacidad y se agregó agua destilada hasta completar 1 litro (DQO = 1000 ppm).

2. Se realizaron las siguientes diluciones:

DQO250 = se agregó en un matraz aforado de capacidad 100 ml, 25 ml de la solución patrón y se completó con agua destilada hasta la línea de aforo (DQO = 250 ppm).

DQO500 = se agregó en un matraz aforado de capacidad 100 ml, 50 ml de la solución patrón y se completó con agua destilada hasta la línea de aforo (DQO = 500 ppm).

DQO750 = se agrego en un matraz aforado de capacidad 100 ml, 75 ml de la solución patrón y se completo con agua destilada hasta la línea de aforo (DQO = 750 ppm).

DQO1000 = se tomaron directamente 100 ml de la solución patrón (DQO = 1000 ppm).

3. Se hizo la lectura de cada dilución en el espectrofotómetro, creando así la curva de calibración del equipo.

Procedimiento

Se precalentó el reactor hasta que el mismo alcanzó una temperatura constante de 150 °C.

Se agregó 1 g de Sulfato de mercurio II a 50 ml de la muestra a analizar.

Se tomó 2,5 ml de la muestra a analizar o una porción diluida de la misma y 2,5 ml de agua destilada para preparar el blanco. Ambos volúmenes tomados se agregaron a tubos de ensayos diferentes de 16x100mm.

Se agregó a cada uno de los tubos 1,5 ml de solución digestora de dicromato de potasio para DQO y 3,5 ml de solución de ácido sulfúrico regente.

Se sello de forma minuciosa cada tubo y se agito varias veces su contenido para lograr una mezcla homogénea.

Se colocaron los tubos de ensayo con la muestra y el blanco por tiempo de 2 horas para que se realizara la digestión.

Se esperó 15 minutos aproximadamente para que se enfriaran los tubos a temperatura ambiente.

Se llenaron tres cápsulas de reacción con las muestras digeradas y una más con el blanco digerado y se insertaron en el paso de la luz del espectrofotómetro con una longitud de onda igual a 600 nm.

Inicialmente se leyó la absorbancia y se comparó con la curva de concentración de la calibración del equipo. Posteriormente se leyeron directamente los valores de concentración de DQO en mg/l registrados por el espectrofotómetro.

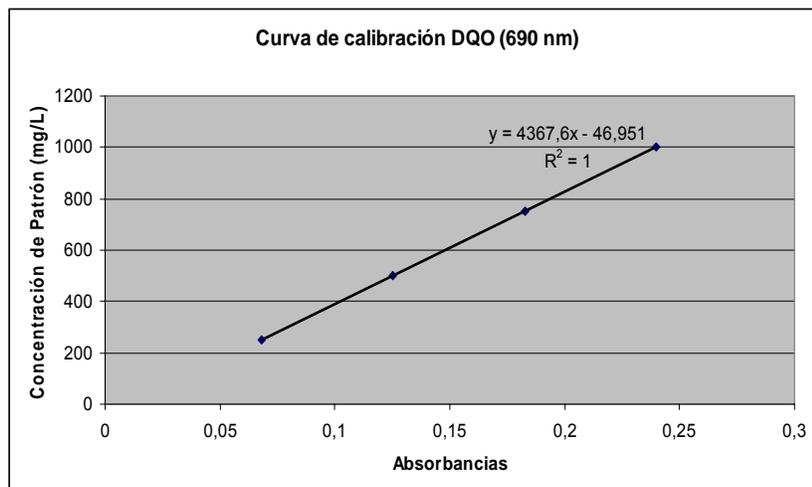


Figura 4.5 Curva de calibración del espectrofotómetro para DQO. Fuente propia.

4.4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅) (SM-5210)

Método: Método de la Azida.

Equipos y Herramientas

- Horno para secado. Marca: Boekel. Modelo: 107905. Temperatura Máx. 200 °C.
- Balanza analítica. Marca: Denver. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Nevera. Marca: Magic Chef. Modelo: RB191P.
- Bomba de pecera. Marca: SHIRUBA. Modelo: K-2000.
- pH metro. Marca: OAKLON. Modelo: pH 3000 series. Serial: 227615.
- Agitador magnético. Marca: Hanna. Modelo: HI 190M.
- Agitador magnético. Marca: Tecnolab. 110 Volts. 40 Watts.
- Desecador
- Destilador. Marca: Pobel 906. Capacidad: 7 L/día.
- Incubadora. Marca: Lab-Line. Modelo: 3550. Serial: 195-006. Capacidad: 0 – 50 °C. Apreciación: 0.2 °C.
- Incubadora. Marca: Memmert. Modelo: 700. Serial: D06063. Capacidad: 0 – 50 °C. Apreciación: 0.2 °C.
- Pipetas graduadas. Capacidad: 1, 10, 15, 25, 50 y 100 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml. Marca: Pyrex.
- Bureta. Capacidad: 50 ml. Precisión: 0.01 ml. Marca: Pyrex.
- Beakers. Capacidad: 25, 50 y 100 ml. Marca: Pyrex.
- Matraz Aforado. Capacidad: 1000 ml. Marca: pyrex.
- Botellas Winkler de incubación. Capacidad: 300 ml. Marca: Pyrex.
- Goteros. Marca: Pyrex

- Propipetas de goma. Marca: didacta

Reactivos y soluciones

- Potasio dihidrógenofosfato (KH_2PO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Dipotassium Hydrogen Phosphate (K_2HPO_4)
- Fosfato ácido de sodio heptahidratado. ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).
Marca: Riedel – de Haën.
- Cloruro de Amonio (NH_4Cl).
- Magnesio Sulfato heptaidrato ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro de Calcio (CaCl_2)
- Cloruro Ferroso Hexa-hidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel –
de Haën.
- Ácido Glútamico. Marca: sigma.
- Glucosa. Marca: Riedel – de Haën.
- Almidón. Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de Manganeso Monohidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Marca:
Riedel – de Haën.
- Sulfato de Manganeso di-hidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Marca:
Riedel – de Haën.
- Sulfato de Manganeso tetra-hidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Marca:
Riedel – de Haën.
- Hidróxido de Sodio (NaOH). Marca: Riedel – de Haën.
- Tiosulfato de Sodio Pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Marca:
Riedel – de Haën.
- Hidróxido de Sodio 6N (NaOH)
- Azida de Sodio (NaN_3). Marca: Riedel – de Haën.

- Yoduro de Sodio (NaI). Marca: Riedel – de Haën.
- Ioduro de Potasio (KI). Marca: Riedel – de Haën.
- Acido Sulfúrico 6N (H₂SO₄). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de Potasio (K₂SO₄)
- Solución de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄).
- Preparación de los Nutrientes

Solución buffer de fosfato.

Se pesaron por separados en la balanza analítica 8.5 g de KH₂PO₄, 21.75 g de K₂HPO₄, 33.4 de Na₂HPO₄ – 7H₂O y 1.7 g de NH₄Cl, y luego se disolvieron en un beaker de un litro de capacidad en aproximadamente 500 ml de agua destilada y posteriormente se diluyó hasta un litro en un matraz aforado.

Solución de sulfato de magnesio.

Se pesó en la balanza analítica 22.5 g de MgSO₄ - 7H₂O y luego se disolvió con agua destilada en un beaker y se llevó hasta la rasante en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad.

Solución de cloruro de calcio.

Se pesó en la balanza analítica 27.5 g de CaCl_2 luego se disolvió con agua destilada en un beaker y se llevó hasta la rasante en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad.

Solución de cloruro ferroso.

Se pesó en la balanza analítica 0.25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, luego se disolvió con agua destilada en un beaker y se llevó hasta la rasante en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad.

Preparación del patrón

Se pesaron por separados en la balanza analítica 0.15 g de glucosa y 0.15 de ácido glutámico y se diluyeron en un matraz aforado hasta 1000 ml. Esta solución es estable por un mes, por lo que se recomienda prepararse todos los meses.

Preparación de las soluciones para la titulación.

Solución de sulfato de manganeso.

Se pesaron por separados en la balanza analítica 480 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 400 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 364 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y luego se disolvieron en un beaker de un litro de capacidad en aproximadamente 500 ml de agua destilada y posteriormente se diluyó hasta un litro en un matraz aforado.

Reactivo álcali-ioduro-azida.

Se pesó en la balanza analítica 10 g de NaN_3 y se disolvió en 500 ml de agua destilada en un matraz aforado de un litro de capacidad, luego se pesaron 480 g de NaOH y 135 g de NaI, y se le agregaron lentamente al matraz agitando hasta disolverse y por último se diluyo hasta la línea de aforo.

Almidón.

Se pesaron por separados en la balanza analítica 2 g de almidón y 0.2 g de ácido salicílico y se diluyeron en 100 ml de agua destilada caliente en un matraz aforado.

Tiosulfato de sodio

Se pesaron por separados en la balanza analítica 6.205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 1.5 ml de NaOH 6N y posteriormente se diluyeron en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad con agua destilada.

Procedimiento de la DBO_5

1. Se preparó en una botella de vidrio de capacidad 20 L el agua de dilución, llenando hasta la mitad (10 L) con agua destilada y con una bomba de pecera se aireó dicho volumen de agua durante dos horas aproximadamente y luego colocando la botella en la nevera se enfrió hasta que esta alcanzara los 20 °C. Posteriormente, se le agregó por cada litro de agua aireada 1 ml de los siguientes nutrientes: solución buffer de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio y solución de

cloruro ferroso. En este caso fueron 10 ml de cada uno para los 10 litros. Luego de tener el agua de dilución preparada se le midió el pH para constatar de que esta se encontraba entre 6.5 y 7.

2. Se procedió a montar el ensayo, aclimatando primero las muestras a una temperatura de 20 °C, previamente conservadas a 4 °C. En base al valor obtenido por el ensayo de DQO, encontramos los valores sugeridos en la tabla de las diluciones de muestra en mililitros que se le colocaran a cada botella. En un beaker se vertieron las muestras colocando este sobre un agitador magnético, y se extrajeron los mililitros que se obtuvieron anteriormente para agregarlos a cada botella previamente identificada. Posteriormente se agregó a cada botella el agua de dilución teniendo el cuidado de no producir burbujeo o turbulencia hasta enrasar la misma, luego se tapó cada una de ella y se le colocó un sello con la misma agua de dilución.

3. Este ensayo se hizo por triplicado, lo que significa que se utilizaron tres (3) diluciones por cada muestra y tres (3) botellas por cada dilución, es decir, a una (1) botella se le midió el oxígeno disuelto inicial (OD_i), y dos (2) fueron incubadas a 20 °C por 5 días, para medir el oxígeno disuelto final (OD_f) (5 días, 20 °C). A estas botellas a incubar se le colocó papel parafinado antes de meterlas en la incubadora.

4. Aparte del triplicado de las muestras se preparó un patrón tomando dos botellas winkler, llenando hasta la mitad con agua de dilución y agregándole 6 ml de la solución de glucosa y ácido glutámico (patrón) a cada una, mas 0.5 ml de Inoculo tomado de la superficie de las misma muestras por ser un agua residual. Se enrasaron hasta los 300 ml con agua de

dilución, a una botella se le midió el oxígeno disuelto inicial (OD_i), y la otra fue sellada con papel parafinado para ser incubada a 20 °C por 5 días, para medir el oxígeno disuelto final (OD_f).

5. Se prepararon dos blancos, uno con inóculo y otro sin inóculo. Al blanco sin inóculo, solamente se le agregaron los 300 ml de agua de dilución, tapándose y sellándose y de igual manera a una se le midió el oxígeno disuelto inicial (OD_i), y la otra fue sellada con papel parafinado para ser incubada a 20 °C por 5 días, para medir el oxígeno disuelto final (OD_f). y el blanco con inóculo a diferencia del otro se le agregaron 0.5 ml de inóculo.

Procedimiento (Método de la azida)

Se siguieron los siguientes pasos:

- Se midió la temperatura a cada botella antes de ser titulada logrando que se encontrara en 20 °C aproximadamente.
- Se le agregó a cada botella winkler 1 ml de sulfato de manganeso y 1 ml de reactivo álcali-ioduro-azida.
- Se mezcló por inversión.
- Cuando el floculo ya ha sedimentado se agregó 1 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
- Se mezcló por inversión.
- Se le extrajeron 99ml de líquido con una pipeta teniendo cuidado de no hacer turbulencia o burbujeo.
- Se le agregó una gota de almidón con un gotero.

- Y por último se procedió a titular los 201 ml restante en la botella winkler con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).
- Se repitió este método para todas las botellas una por una.

Procedimiento (Medidor de Oxígeno Disuelto)

Se siguieron los siguientes pasos:

Transcurridos los cinco (05) días, se sacaron las botellas del winkler de la nevera y se colocaron en la mesa del laboratorio hasta que estas alcanzaran la temperatura ambiente.

Se utilizó el aparato medidor de oxígeno previamente calibrado y esterilizado con agua destilada y se introdujo dentro de la botella sin tocar el fondo ni los lados de la misma y se tomó la lectura correspondiente.

Para cada botella se repitió el paso número 2.

Muestra de cálculos

Calculo del volumen de agua de difusión.

$V = 20 \text{ botellas para el ensayo de la DBO} \times 300 \text{ ml/ Botella} = 6000 \text{ ml} = 6$

L ‰

Calculo del número de botellas a utilizarse para el ensayo (N)

$N = (3 \text{ diluciones} \times 3 \text{ botellas/ dilución}) \times \text{muestras} + (1 \text{ botella/ blanco}) \times 2 \text{ blancos.}$

N= 20 botellas

Nota: se utilizaron 10 litros por seguridad, si ocurría algún error.

4.4.3 Fósforo Total (PT) (SM 4500 P- D)

Método: Colorimétrico.

Equipos y Herramientas

- Envases de Erlenmeyer. Marca: Pyrex. Capacidad: 125ml. Apreciación: 25 ml.
- Pipetas graduadas. Marca: Pyrex. Capacidad: 2 ml, 5 ml, 10 ml, 25 ml y 50 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.
- Plancha calentadora. Marca: VWR. Capacidad: 0 – 400 °C.. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Destilador. Marca: Pobel 906.
- Campana de extracción. Marca: Lavascoin
- Piceta. Marca: Pyrex.
- Gotero. Marca: Pyrex.
- Balanza analítica. Marca: Denver Instrument Company AA – 160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Espectrofotómetro. Marca: Perkin Elmer / Lambda 10.

- Matraz Aforado. Capacidad: 50 ml, 100 ml, 250 ml.
- pHmetro. Marca: OAKLON. Modelo: pH 3000 series. Serial: 227615.
- Cápsulas de reacción. Capacidad: 10ml.

Reactivos

- Fenolftaleína.
- Ácido Clorhídrico (HCl). Marca: Riedel de Haën
- Solución de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄). Marca: Riedel de Haën.
- Molibdato de Amonio. (NH₄)₆M₇O₂₄.4H₂O
- Metavanadato de Amonio NH₄VO₃
- Hidróxido de Sodio. (NaOH). Marca: Riedel de Haën
- Fosfato Diácido de Potasio (KH₂PO₄). Marca: Riedel de Haën
- Persulfato de Potasio (K₂S₂O₈). Marca: Riedel de Haën
- Etanol (C₂ H₅ OH). Marca: Riedel de Haën.
- Cloruro Estañoso (SnCl₂H₂O). Marca: Riedel de Haën.
- Gliseriana (C₃H₈O₃). Marca Fisher

Soluciones

Molibdato de amonio. Regente I

Se pesaron en una balanza analítica 25 g de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{M}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, se disolvieron en 175 ml de agua destilada en un matraz aforado de un litro de capacidad. En otro beaker se añadieron cuidadosamente 280 ml de ácido sulfúrico a 400 ml de agua destilada. Se enfrió la solución y se acidificó a la solución de Molibdato, luego se diluyó hasta un litro.

Cloruro Estañoso. Regente I

Se pesaron en una balanza analítica 2,5 g de cloruro estañoso $(\text{SnCl}_2\text{H}_2\text{O})$ y se disolvieron en 100 ml de glicerol, en un matraz aforado de un litro de capacidad. Se agitó la mezcla con una varilla de vidrio calentando a baño de agua hasta obtener la disolución completa.

Digestión con Persulfato

Indicador de fenolftaleína: Se disolvió 0,5g de fenolftaleína en una mezcla de 50 ml de alcohol etílico o isopropílico y 50 ml de agua destilada.

Solución de Ácido Sulfúrico

Se agregó cuidadosamente 300 ml de H_2SO_4 concentrado en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad, luego 600 ml de agua destilada y se diluyó a 1 L con agua destilada.

Hidróxido de Sodio 1N

Se disolvió 20 g de NaOH en 400 ml de agua destilada. Se enfrió la solución a temperatura ambiente y se diluyó a 500 ml con agua destilada.

Se enfriaron y agregaron 330 ml de HCl concentrado. Se enfrió a temperatura ambiente.

Solución estándar de fosfato

Se disolvió en agua destilada 219,5 mg del anhídrido KH_2PO_4 y posteriormente se diluyó a 1000 ml; $1.00 \text{ mL} = 50.0 \mu\text{g PO}_4^{3-} - \text{P}$.

Calibración del Espectrofotómetro

1. A una serie de matraces aforados de 50 ml se agregaron alícuotas de la solución estándar de fosfato para preparar patrones con concentraciones en el rango de 0 mg/l a 20mg/l.

1.1. Se realizaron las siguientes diluciones:

Patrón 1= se agregaron 2 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50ml, y se completo con agua destilada.

Patrón 2 = se agregaron 5 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de capacidad 50 ml, y se completo con agua destilada.

Patrón 3 = se agregaron 10 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50 ml, y se completo con agua destilada.

Patrón 4 = se agregaron 15 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50 ml, y se completo con agua destilada.

Patrón 5 = se agregaron 20 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50 ml, y se completo con agua destilada.

2. Se transfirieron 35 ml de cada patrón a un balón aforado de 50 ml respectivamente; se agregaron 10 ml de reactivo Vanadato-Molibdato y se diluyo hasta la marca con agua destilada obteniéndose así la concentración asignada a cada patrón:

Patrón 1 = 2 mg/ L; Patrón 2 = 5 mg/ L; Patrón 3 = 10 mg/ L; Patrón 4 = 15 mg/ L; Patrón 5 = 20 mg/ L

3. Después de 10 minutos o más, se determinó la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 420 nm utilizando el patrón de 0 mg/L, para calibrar el espectrofotómetro.

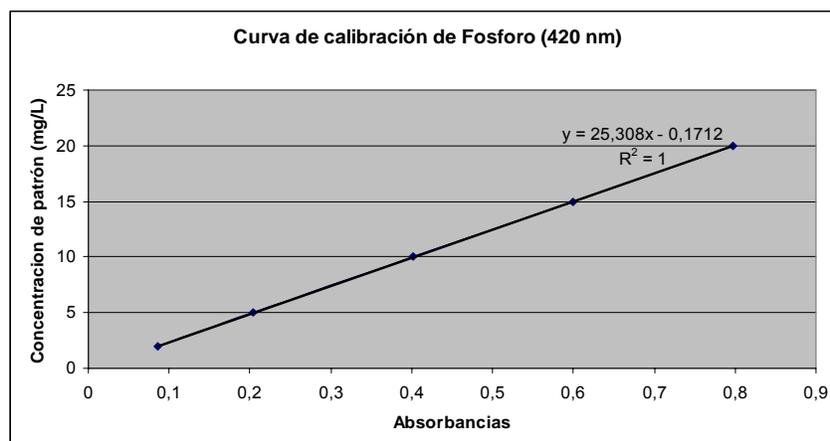


Figura 4.13 Curva de calibración del espectrofotómetro para Fósforo Total. Fuente propia.

Procedimiento

Digestión con Persulfato (SM 4500-P B.5)

Se transfirieron 50 ml de muestra previamente acidificada a los matraces aforados, se agregaron 0,05 ml (1 gota) de fenolftaleína; si se desarrolló una coloración rosada, se agregó gota a gota solución de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) hasta eliminar el color, se agregó 1 ml adicional de ésta solución y 0,4 g de $(NH_4)_2S_2O_8$ o 0,5 g de $K_2S_2O_8$ sólido.

Se ebulló suavemente la mezcla sobre una plancha de calentamiento durante 30 a 40 minutos, o hasta obtener un volumen de 10 ml. Se enfrió y se diluyó a 30 ml con agua destilada, se agregó 0,05 ml (1 gota) de indicador de fenolftaleína y se neutralizó con NaOH 1 N, hasta que apareció un ligero color rosado.

Se llevó el volumen a 100 ml con agua destilada. Ésta fue la muestra a utilizar para la determinación de fósforo por el Método Colorimétrico.

4.4.4 Nitrógeno Total (Kjeldahl) (4500-N_{org}. B)

Equipos y Herramientas

- Balones de digestión de 100 ml a 800 ml. Marca: Pyrex.
- Plancha de calentamiento. Marca: PCM. Modelo: 502C.
- Campana de extracción. Marca: La vasconia. Modelo: 43545
- Equipo de destilación. Marca: Pobel. Modelo: 906. Serial: 150001.

Reactivos y Soluciones

- Solución de sulfato de mercurio

Se disolvieron 8 gr de óxido rojo de mercurio, HgO, en 100 ml de ácido sulfúrico 6N. Esta sustancia es tóxica y debe manejarse bajo campana y evitarse el contacto con la piel.

Reactivo de digestión

Se disolvieron 134 gr de K₂SO₄ en 650 ml de agua y 200 ml de H₂SO₄ concentrado. Se agregaron manteniendo agitación, 25 ml de solución de sulfato de mercurio y se diluyó a 1 L con agua. Se almacenó a una temperatura de 20°C para evitar la cristalización.

Reactivo de hidróxido – tiosulfato de sodio

Se disolvieron 500 gr de NaOH y 25 gr de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua y se diluyó a 1 L.

Hidróxido de Sodio:

NaOH 6N. Se disolvieron 240 gr de NaOH en agua y se diluyó a 1 L.

Procedimiento

Selección del volumen de muestra y preparación de la muestra: se colocó un volumen medido de muestra en un matraz Kjeldahl de 800 ml. Se seleccionó un volumen de muestra a utilizar de 50 ml de la tabla siguiente:

Volumen de muestra para la determinación de Nitrógeno Total

La muestra se diluyó a 300 ml y se neutralizó.

Digestión: se agregaron 50 ml de reactivo de digestión y unas perlas de vidrio al balón de destilación. Se conectó el equipo de digestión. Se deja digerir la solución hasta que se redujo el volumen hasta 25 ml y ocurrió el desprendimiento de humo blanco de SO_3 . Se continuó la digestión por 30 min más, se dejó enfriar, y se le agregó 300 ml de agua y se mezcló bien. La solución digerida se alcalinizó agregando cuidadosamente 50 ml de reactivo de hidróxido-tiosulfato de sodio.

Destilación: Se conectó el balón al equipo de destilación, y se agitó para mezclar el digestado. Antes de empezar la destilación se colocó al extremo del condensador un erlenmeyer con 50 ml de H₂SO₄ 0,04 N. Se inició el proceso de destilación, recogién dose 200 ml de destilado, los cuales se diluyeron a 500 ml con agua.

Equipos y Herramientas

- Electrodo selectivo de amoníaco.
- Equipo para la agitación magnética.
- Reactivos y Soluciones
- Hidróxido de sodio NaOH 10N.

Se disolvieron 400 gr de NaOH en 800 ml de agua. Se dejó enfriar y se diluyó a 1000 ml con agua.

Solución madre de amoniaco

Se disolvieron 3,918 gr de cloruro de amonio anhidro, secados a 100 °C, en agua y se diluyeron en agua hasta 1 L.

Solución patrón de amonio

Se diluyeron 10 ml de solución concentrada de amonio a 1000 ml con agua.

Procedimiento

Fue necesaria la preparación de la curva de calibración del electrodo. Para ello se prepararon patrones de amoniaco con las siguientes concentraciones de la solución madre de amoniaco: 1000, 100, 10, 1, 0,1 mg NH₃-N /L.

En vasos precipitados de 150 ml se pasaron 100 ml de cada uno de los patrones.

Se colocó el electrodo en el patrón de menor concentración manteniendo la agitación. El electrodo se mantuvo sumergido mientras se procedía a añadir 1 ml de NaOH 10N para llevar el pH a 11. Se mantuvo la agitación hasta que la lectura de milivoltios se hizo estable.

El procedimiento presentado arriba se le aplicó a cada patrón, obteniendo para cada uno su respectiva lectura de mV. También fue usado para medir los mV en para las muestras de agua.

Los valores de mV para los patrones se graficaron en función de los logaritmos de las concentraciones de los mismos, obteniéndose la curva de calibración.

Con los valores de mV para las muestras usando la gráfica se obtuvieron las concentraciones de amoniaco para las aguas, las cuales son concentraciones de nitrógeno total.

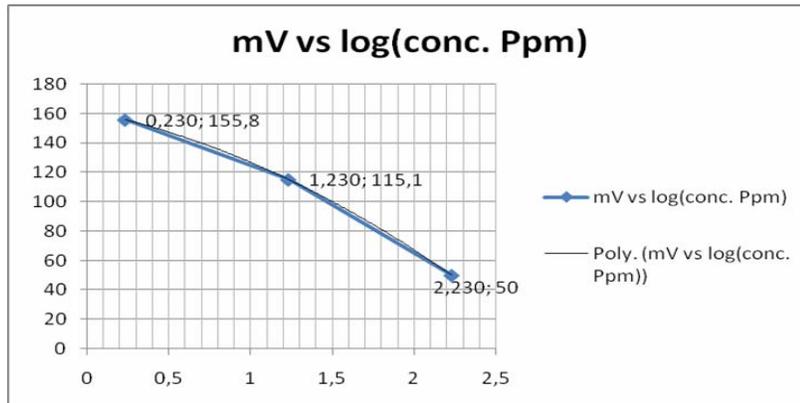


Figura 4.15 Curva de calibración del electrodo selectivo de amoníaco.

Fuente propia.

$$mV = -12,2(\log(\text{mg/L}))^2 - 22,877 \log(\text{mg/L}) + 161,72 \quad (4.4)$$

4.4.5 Nitratos (SM 4500-NO3. B)

Método: Electrodo de Nitrato.

Equipos y Herramientas

- Electrodo de Ion nitrato.
- Agitador magnético.
- Balanza analítica. Marca: Denver. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Destilador. Marca: Pobel. Modelo: 906. Serial: 150001.
- Agitador magnético. Marca: Hanna. Modelo: HI 190M.
- Beakers de 250. Marca: Pyrex.

- Cilindros graduados de 50 ml. Marca: Pyrex.
- Picetas. Marca: Pyrex.
- Goteros. Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.

Reactivos y Soluciones

- Agua destilada exenta de nitrato: se obtuvo por un proceso de destilación.
- Solución madre de nitrato: se disolvieron 1.232 g de NaNO_2 en agua y se diluyó a 1000 ml. Se agregó un 1 ml de CHCl_3 .
- Solución patrón de nitrato: se diluyeron 1, 10, y 50 ml de solución madre de nitrato a 100 ml con agua, obteniéndose las soluciones patrón 1, 10 y 50 mg $\text{NO}_3 - \text{N} / \text{L}$ respectivamente.
- Solución tampón: fue proporcionado por el fabricante del electrodo.
- Hidróxido de sodio: se preparó una solución de NaOH 0.1 N.
- Solución de llenado de referencia: fue proporcionada por el fabricante del electrodo.

Preparación del electrodo

Antes de utilizar el electrodo, fue necesario llenarlo con una solución de llenado de óptimos resultados proporcionada por el fabricante.

Curva de calibración

Para elaborar la curva de calibración del equipo se prepararon 3 diluciones de la solución madre con diferentes concentraciones, en este caso se usaron 1 mg/L, 10 mg/L y 50 mg/L).

De cada dilución se tomaron 50 ml en un beaker de 250 ml, agregándoles 1 ml de solución ISA. Se introdujo el electrodo de nitrato en el beaker, estando este sobre el agitador magnético. Se esperó alrededor de 1 minuto para tomar cada lectura de potencial en mV.

Se graficaron los valores de potencial (mV) vs concentración nitrato (mg de $\text{NO}_3 - \text{N} / \text{L}$), en papel semi-logarítmico, colocando las concentraciones en el eje logarítmico.

Medición de las muestras

Para medir la concentración de nitrato en las muestras se le aplicó el mismo el procedimiento usado para medir el potencial con los patrones. Con el valor de mV de cada muestra se entró en la gráfica y se hizo la lectura de la concentración de nitrato.

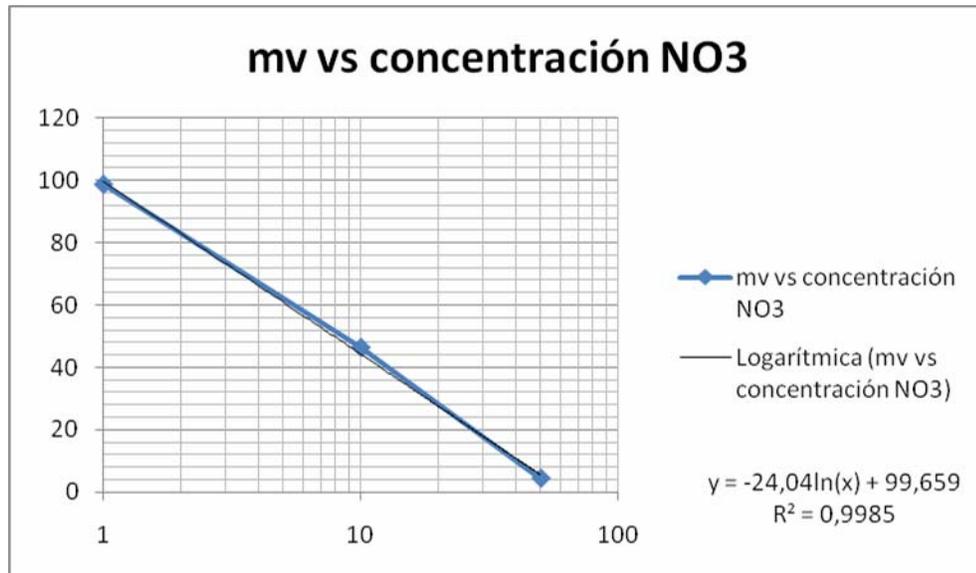


Figura 4.16 Curva de calibración del electrodo de nitrato. Fuente propia.

$$\boxed{mV = -24,04 \cdot \ln(x) + 99,659} \quad (4.5)$$

Donde:

mV = lectura de milivoltios.

X = log(mg/L) NO₃

Muestra de cálculo

$$F = \frac{2}{A_S - A_B} \quad (4.6)$$

$$NO_2 - N \mu g - at / L = (A_m - A_b) * F$$

$$NO_2 - Nmg / L = (NO_2 - N\mu g - at / L) * 0,014$$

Donde:

A_s = absorbancia media de las soluciones patrón.

A_B = absorbancia del blanco.

A_m = absorbancia de la muestra.

4.4.6 Nitritos

Equipos y Herramientas

- Espectrofotómetro para usarlo a 540 nm.
- Filtros de fibra de vidrio.
- Bomba de Vacío.
- Plancha de calentamiento. Marca: PCM. Modelo: 502C.
- Matracas erlenmeyer de 125 ml.
- Matracas volumétricos de 50 ml.
- Pipetas graduadas de 5, 10, y 25 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml.
Marca: Pyrex.
- Cilindros graduados de 50 ml. Marca: Pyrex.
- Picetas. Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.

Reactivos y soluciones

Solución de sulfanilamida: se mezcló lenta y cuidadosamente 50 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) en 300 ml de agua destilada. Se Añadió 5 g de sulfanilamida ($\text{N}_2\text{H}_8 \text{SO}_2\text{C}_6$) y se mezcló. se Diluyó a 500 ml con agua destilada. Esta solución es estable por muchos meses.

Solución de clorhidrato N-1 naftil etiléndiamina: se agregó 0.5 g de clorhidrato N-1 naftil etiléndiamina ($\text{C}_{12} \text{H}_{14} \text{N}_2$) a 500 ml de agua destilada, y se mezcló hasta disolver. Se Almacenó en una botella oscura. Es necesario reemplazar mensualmente o cuando la solución desarrolle un color oscuro muy fuerte.

Solución patrón de nitritos: se secó el nitrito de sodio (Na NO_2) colocando cierta cantidad en un desecador por 24 horas. Se Pesó 0.345 g y se disolvió en agua destilada, se diluyó hasta 1000 ml. Se Añadió 1 ml de cloroformo como preservativo y se almacenó en una botella oscura. Esta solución es estable por 1 o 2 meses.

Solución estándar de nitritos: se diluyó 10 ml de la solución patrón de nitritos con agua destilada a 1000 ml. Usar inmediatamente.

Pre-tratamiento de la muestra

Se Pasó la muestra a través de un filtro de fibra de vidrio.

Se Permitió que la muestra alcanzase una temperatura entre 15 y 25 °C.

Procedimiento

1. Se prepararon tres soluciones sub-estándar en matraces volumétricos de 50 ml colocando 2 ml de solución estándar de nitrito y diluyendo hasta el aforo con agua destilada. Se transfirieron las tres soluciones sub-estandar a tres matraces secos y limpios de 125 ml. En otro erlenmeyer de 125 ml de colocaron 50 ml de agua destilada el cual se hizo como blanco en la prueba. En un erlenmeyer más 125 ml se colocaron 50 ml de muestra.

2. Para la determinación, teniendo los 5 erlenmeyer (1 de muestra, 3 de solución sub-estándar y 1 con el blanco), a cada uno se le agregó 1 ml de la solución sulfanilamida, se mezcló y se esperó entre 2 y 8 min. Pasado este tiempo se agregó 1 ml de la solución de etiléndiamina y se mezcló fuertemente cada erlenmeyer. Las soluciones sub-estándar desarrollan un color rosado pálido indicando la presencia de nitrito. Si las muestra también presentaban esta reacción se procedida con la medición de su absorbancia.

3. Para medir la absorbancia se esperaron 10 minutos pero no más de 2 horas usando el espectrofotómetro a una longitud de onda de 543 nm.

4.4.7 Coliformes Totales y Fecales (CT y CF) (SM 9221)

Método: Técnica de la fermentación de tubos múltiples para miembros de la familia de los coliformes. (SM- 9221)

Equipos y Herramientas

- Incubadora Seca. Marca: Memmert. Modelo: 700. Serial: D06063. Capacidad: 29,9-70 °C. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Incubadora Seca 20 °C. Marca: Lab-Line. Modelo: 3550. Serial: 195-006. Capacidad: 0-50 °C. Apreciación: $\pm 0,5$ °C.
- Incubadora Baño de María. Marca: Shel Lab. Modelo: 1285 PC. Serial: 0501298. Capacidad: 0-60 °C. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Autoclave. Marca: All American. Modelo: 25X. Capacidad: 0-30 psi. Apreciación: $\pm 0,1$ psi.
- Nevera. Marca: Magic Chef. Modelo: RB191P.
- Balanza analítica. Marca: Denver Instrument Company. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Viales de digestión (Tubos de ensayo de borosilicato de 25x125mm con tapa).
- Pipetas graduadas de 1 y 10 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml. Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.
- Cápsulas Plásticas para pesar sustancias.
- Asa de Platino.
- Mechero.
- Tubos Durham. Marca: Pyrex
- Guantes de Látex.
- Reactivos
- Caldo Lauryl Sulfato Triptosa. Marca: Himedia Lab PVT.Ltd.
- Caldo Bilis Verde Brillante. Marca: Himedia Lab PVT.Ltd.
- Caldo Casein Enzymic. Marca: Himedia Lab PVT.Ltd.

- Peptona
- Esterilización
- Los tubos de ensayo, tapas y tubos Durham utilizados, fueron lavados con agua y jabón.
- Luego se introdujeron en el autoclave hasta alcanzar 15 libras de presión durante un intervalo de tiempo de 15 minutos aproximadamente.
- Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se almacenaron hasta su utilización.

Preparación de los Medios de Cultivo

Caldo Lauryl Sulfato Triptosa (LST):

Se preparó el caldo siguiendo las indicaciones del fabricante Himedia Lab PVT.Ltd: para 1 litro de agua destilada se utilizan 35,60 gr de LST.

Se añadieron los 35,6 gr de LST a 1 litro de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

Se prepararon 5 series de 5 tubos de ensayo con un tubo Durham invertido en cada uno de ellos, por cada muestra a analizar.

Se agregaron 10 ml del caldo LST en cada uno de los tubos de fermentación de acuerdo a la Tabla 4.7 para no alterar la concentración de los ingredientes del medio por debajo de los estándares.

Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 libras de presión durante 15 minutos.

Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

Caldo Bilis Verde Brillante (BVB):

Se preparó el caldo siguiendo las indicaciones del fabricante Himedia Lab PVT.Ltd: para 1 litro de agua destilada se utilizan 40 gr de BVB.

Se añadieron los 40 gr de BVB a 1 litro de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

Se prepararon 5 series de 5 tubos de ensayo con un tubo Durham invertido en cada uno de ellos, por cada muestra a analizar.

Se agregaron 10 ml del caldo BVB en cada uno de los tubos de fermentación para no alterar la concentración de los ingredientes del medio por debajo de los estándares.

Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 libras de presión durante 15 minutos.

Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

Caldo Casein Enzymic (EC):

Se preparó el caldo siguiendo las indicaciones del fabricante Himedia Lab PVT.Ltd: para 1 litro de agua destilada se utilizan 37 gr de EC.

Se añadieron los 37 gr de EC a 1 litro de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

Se prepararon 5 series de 5 tubos de ensayo con un tubo Durham invertido en cada uno de ellos, por cada muestra a analizar.

Se agregaron 10 ml del caldo EC en cada uno de los tubos de fermentación para no alterar la concentración de los ingredientes del medio por debajo de los estándares.

Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 libras de presión durante 15 minutos.

Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

Agua de Dilución. (Solución de Agua Peptonada)

Se preparó agua Peptonada al 0,1% siguiendo las indicaciones del Estándar Métodos.

Se añadió 0,1 gr de peptona a 1 litro de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

Se agregaron 9 ml del agua peptonada en cada uno de los tubos de fermentación para hacer las diluciones.

Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 libras de presión durante 15 minutos.

Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

Procedimiento Prueba Presuntiva

Se agregó 1 ml de muestra del agua del drenaje en el tubo de ensayo N°1, el cual contenía agua peptonada. Se le colocó la tapa al tubo y se agitó suavemente.

Posteriormente se extrajo 1 ml de solución del tubo de ensayo N°1 y se le agregó al tubo N°2 el cual contenía agua peptonada para hacer una segunda dilución. Se le colocó la tapa al tubo y se agitó suavemente. Este proceso se repitió en las series siguientes, hasta obtener 5 o 6 diluciones dependiendo del caso.

Se tomó el tubo de ensayo N°1 y se inoculó una serie de 5 tubos que contenían caldo Lauryl sulfato Triptosa, agregando 1 ml de solución a cada

uno. De esta manera se completó la serie correspondiente a la primera dilución (10^{-1})

Se tomó el tubo de ensayo N°2 y se inoculó otra serie de 5 tubos que contenían caldo Lauryl sulfato Triptosa, agregando 1 ml de solución a cada uno. De esta manera se completó la serie correspondiente a la segunda dilución (10^{-2}). Este proceso se repitió con los tubos siguientes, hasta completar la última serie de dilución correspondiente a 10^{-5} o 10^{-6} dependiendo del caso.

Se agitaron generosamente los tubos para mezclar el caldo y la muestra, cuidando de no dejar ninguna burbuja de aire dentro del tubo Durham invertido, y se colocaron en una rejilla.

Se colocaron los tubos de fermentación inoculados en la incubadora seca a 35 ± 5 °C.

Después de 24 ± 2 h se examinó visualmente la presencia o ausencia de formación de gas en cada uno de los tubos Durham invertidos que se encontraban dentro de los tubos de ensayo. La formación de gas constituye una prueba presuntiva positiva. Los tubos que no presentaron gas durante las primeras 24 h, se volvieron a colocar en la incubadora durante 24 h más para ser examinados posteriormente. Los tubos que si formaron gas, pasaron directamente a la prueba confirmativa.

Transcurridas 48 ± 3 h, se volvieron a examinar visualmente los tubos Durham, y los que presentaron formación de gas se llevaron a la prueba confirmativa, los resultados negativos fueron descartados.

Procedimiento Prueba Confirmativa

De la serie N°1 se tomó un tubo fermentado que resultó positivo en la prueba presuntiva, se agitó generosamente para resuspender los organismos y con un asa de platino estéril se transfirió cultivo a un tubo que contenía caldo Bilis Verde Brillante. Este procedimiento se repitió para el resto de los tubos positivos de la serie N°1, así como también, para los tubos positivos de las demás series. . Cada vez que se transfería el cultivo a un nuevo tubo con caldo BVB el asa de platino se esterilizaba con la llama de un mechero.

Se agitaron generosamente los tubos para mezclar el caldo y la muestra, cuidando de no dejar ninguna burbuja de aire dentro del tubo Durham invertido, y se colocaron en una rejilla.

Se colocaron los tubos de fermentación inoculados en la incubadora seca a 35 ± 5 °C.

Después de 24 ± 2 h se examinó visualmente la presencia o ausencia de formación de gas en cada uno de los tubos Durham invertidos que se encontraban dentro de los tubos de ensayo. Los tubos que no presentaron gas durante las primeras 24 h, se volvieron a colocar en la incubadora durante 24 h más para ser examinados posteriormente. Los tubos que si formaron gas, son resultados positivos de la prueba confirmativa.

Transcurridas las 48 ± 3 h, se volvieron a examinar los tubos Durham, y los que presentaron formación de gas son resultados positivos de la prueba confirmativa, y los resultados negativos fueron descartados.

Se calculó el NMP de coliformes totales a partir del número de tubos positivos en esta fase.

Procedimiento Coliformes Fecales

De la serie N°1 se tomó un tubo fermentado que resultó positivo en la prueba presuntiva, se agitó generosamente para resuspender los organismos y con un asa de platino estéril se transfirió cultivo a un tubo que contenía caldo EC. Este procedimiento se repitió para el resto de los tubos positivos de la serie N°1, así como también, para los tubos positivos de las demás series. . Cada vez que se transfería el cultivo a un nuevo tubo con caldo EC el asa de platino se esterilizaba con la llama de un mechero.

Se agitaron generosamente los tubos para mezclar el caldo y la muestra, cuidando de no dejar ninguna burbuja de aire dentro del tubo Durham invertido, y se colocaron en una rejilla.

Se colocaron los tubos de fermentación inoculados en la incubadora de baño de maría a 44,5 °C.

Después de 24 ± 2 h se examinó visualmente la presencia o ausencia de formación de gas en cada uno de los tubos Durham invertidos que se encontraban dentro de los tubos de ensayo. Los tubos que formaron gas, son resultados positivos de la prueba de coliformes fecales, los resultados negativos fueron descartados.

Se calculó el NMP de coliformes fecales a partir del número de tubos positivos en esta fase.

Cuando no se disponga de la ecuación de Poisson o de las tablas de NMP puede emplearse la ecuación de Thomas, desarrollada en 1942, para estimar el NMP, según la ecuación 2.7

Si se usan volúmenes de muestras mayores o menores, los valores de NMP observados se deben corregir por medio de la ecuación 2.8

4.4.8 Sólidos Suspendedos Totales (SM-2540.D)

Método: Determinación de Sólidos Suspendedos Totales (SM-2540.D)

Equipos y herramientas

Agitador magnético. Marca: Hanna. Modelo: HI 190M.

Aparato de extracción al vacío. Sin marca

Balanza analítica. Marca: Denver. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.

Beakers 600, 800 y 1000 ml. Marca: Pyrex.

Bomba de vacío. Marca: Gast. Modelo: 0211-V45M-68CX. Serial: 0891
60 Hz. PH: 1. 1725 RPM.

Cilindro graduado. Marca: Pyrex. Capacidad: 50 ml. Apreciación: ± 1 ml.

Crisoles de porcelana. Capacidad: 130 ml.

Desecador. Marca: Pyrex.

Horno para secado. Marca: Boekel. Modelo: 107905. Capacidad: 0 -
200°C. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.

Jeringas.

Papel de filtro de 55 y 125mm. Marca: Whatman.

Picetas. Marca: Pyrex.

Pinza metálica.

Procedimiento

Preparación del equipo de filtración

Se colocó un filtro en el aparato de extracción al vacío, se encendió la bomba y se aplicó vacío. Se lavó el filtro con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, continuando la succión hasta eliminar toda traza de agua.

Se colocó el filtro en un crisol de porcelana y se llevó a un horno a 103-105 °C durante 1 hora.

Luego, se enfrió en un desecador y se pesó hasta obtener peso constante.

Se repitió este procedimiento para el resto de los filtros y se guardaron en un desecador hasta el momento de utilizarlos.

Técnica de Ensayo

Utilizando vacío, se filtró un volumen medido de muestra bien mezclado. Se continuó la succión hasta eliminar toda traza de agua y se lavo con 3 porciones sucesivas de 10 ml de agua destilada, permitiendo un

drenaje total después de cada lavado, y se continuó la succión durante 3 minutos al término de la filtración.

Se colocó el filtro nuevamente en el crisol y se llevó al horno durante 1 hora a 103-105 °C.

Se enfrió en un desecador y se pesó hasta obtener peso constante.

El paso 2 y 3 se repitieron hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,5 mg.

Este procedimiento se realizó por triplicado para cada punto de muestreo.

La determinación de los sólidos suspendidos totales se realiza mediante la ecuación 2.1:

NOTA: para esta evaluación el parámetro aceites y grasas no fue tomado en cuenta, debido a que en el Automotel no existe comedor ni restaurante.

4.4.9 Turbidez

alcance:

La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados al consumo humano y para numerosos usos industriales y para la reutilización de aguas residuales tratadas. La

transparencia de una masa de natural de agua es un factor decisivo para la calidad y productividad de estos sistemas.

Definición:

La turbidez del agua es producida por materia en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra.

Interferencia: La turbidez puede determinarse en cualquier muestra de agua libre de residuos y privada de sedimentos gruesos. La suciedad del vidrio, la presencia de burbujas de aire y los efectos de las vibraciones que alteran la visibilidad superficial de la muestra, conducirán a resultados falsos. El «color verdadero», es decir, el color del agua debido a sustancias disueltas que absorben luz, origina que la turbidez sea más baja. Este efecto, por lo general, no resulta significativo en el caso de aguas tratadas.

Equipos y materiales

Turbidímetro: consistente en un nefelómetro en una fuente de luz para iluminar la muestra, y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de luz incidente. Utilícese un turbidímetro diseñado de manera que una parte de la luz desviada alcance el detector en ausencia de turbidez y libre de una desviación significativa después de un breve calentamiento. La

sensibilidad del instrumento debiera permitir la detección de diferencias de turbidez de 0,02 UNT o menos, en aguas con cifras de menos de 1 UNT, con margen entre 0 y 40 UNT. Para obtener una cobertura adecuada y una sensibilidad suficiente para turbideces bajas son necesarios varios márgenes.

Las diferencias en el diseño del turbidímetro producirán diferencias en los valores obtenidos, aunque se use la misma suspensión para el calibrado. A fin de reducir al mínimo estas diferencias, obsérvense los siguientes criterios de diseño:

Fuente de luz: Lámpara de filamento de tungsteno dispuesto para una temperatura de color comprendida entre 2.200 y 3.000 °K.

Distancia recorrida por la luz incidente y la dispersada dentro del tubo de muestra: Total que no exceda de 10 cm.

Angulo de aceptación de la luz por el receptor: Centrada a 90° de haz de luz incidente y sin exceder $\pm 30^\circ$ a partir de 90°. El detector y el sistema de filtro, si se usa, tendrán una respuesta-pico en el espectro entre 400 y 600 nm.

Tubos de muestra, de cristal incoloro, transparente. Mantener los tubos escrupulosamente limpios, por dentro y por fuera, descartando los rayados y' manchados. No manejarlos cuando están bajo la luz. Utilícense de tipo extralargo. Llénense las muestras y los patrones después de agitación cuidadosa, dejando tiempo para que se eliminen las burbujas.

Procedimiento

Calibración del turbidímetro: Síganse las instrucciones del fabricante. A falta de una escala precalibrada, prepárense curvas de calibrado para cada margen del aparato. Utilizando estándares adecuados, compruébese la exactitud de cualquier escala de calibrado de que se disponga sobre un instrumento precalibrado.

Verifíquese por lo menos un estándar en cada margen del aparato que se vaya a utilizar. Compruébese que el turbidímetro facilita lecturas estables en todos los márgenes de sensibilidad utilizados. Es probable que las turbideces elevadas determinadas por medida directa difieran apreciablemente de las determinadas por la técnica referida en el apartado 4c.

Medida de turbideces menores de 40 UNT: Agítase cuidadosamente la muestra. Espérese hasta que desaparezcan las burbujas de aire, y viértase la muestra en el tubo del turbidímetro. Cuando sea posible, viértase la muestra agitada en el tubo y sumérgase en un baño ultrasónico durante 1-2 segundos, obteniendo la eliminación total de las burbujas. Léase directamente la turbidez en la escala del aparato o en la curva del calibrado adecuada.

Medida de turbideces superiores a 40 UNT

Dilúyase la muestra con uno o más volúmenes de agua libre de turbidez hasta que esta descienda a 30-40 UNT. Calcúlese la turbidez de la

muestra original en función de la que tiene la muestra diluida y del factor de dilución. Por ejemplo, si cinco volúmenes de agua libre de turbidez se añaden a un volumen de muestra y la muestra diluida mostró una turbidez de 30 UNT, la turbidez de la muestra original era de 180 UNT.

Calíbrese soluciones de monitorización continua de turbidez

Para cifras bajas de esta, mediante determinación de la turbidez del agua que entra y sale por ellas, utilizando un turbidímetro modelo de laboratorio. Cuando esto no sea posible, empléese un adecuado estándar diluido (apartado 3e). Para turbiedades superiores a 40 UNT, utilícese solución madre no diluida.

Cálculo

Unidades nefelométricas de turbidez (UNT):

$$UNT = \frac{Ax(A+C)}{C} \quad (4.7)$$

Donde:

A = UNT encontradas en muestra diluida,

B = volumen (ml) de agua de dilución, y

C = volumen (ml) de la muestra tomada para dilución

Para comparar la eficacia del tratamiento de un agua, estímesese la turbidez de forma más precisa a como se ha señalado aquí. Las

incertidumbres y discrepancias en medidas de turbidez hacen improbable que dos o más laboratorios dupliquen los resultados de una misma muestra con más exactitud que la especificada.

4.4.10 Temperatura

Fundamentos: las lecturas de temperatura son usadas en el cálculo de varias formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad con respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en operaciones generales de laboratorio. En estudios limnológicos, se requiere la temperatura del agua como una función de la profundidad. Elevadas temperaturas como consecuencia de descargas de agua caliente pueden tener impactos ecológicos significativos.

Normalmente, las medidas de temperatura pueden ser hechas con un termómetro de mercurio graduado en grados Celsius y una escala de 0,1 °C.

Equipos:

Termómetro ± 2 °C.

Beaker.

Pizeta.

Procedimiento:

Introduzca el termómetro en la muestra, espere a que se equilibre la temperatura.

Cálculos:

Se toma la temperatura directamente del termómetro. Se reporta en grados Celsius.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del sistema de tratamiento en estudio, así como la eficiencia del sistema.

5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Al analizar todos los valores resultantes de los parámetros obtenidos en el laboratorio, aplicando criterios de depuración y medidas estadísticas se pudo establecer que todos los valores se encuentran estrechamente vinculados o relacionados.

Para estimar la media de estos valores se utilizó la desviación estándar (σ); lo que implica un 95 % de confianza entre los valores. En el anexo H se muestran los análisis estadísticos realizados y se observa como los límites establecidos permitieron depurar valores que no estaban dentro del rango, obteniendo así un resultado confiable. Fueron muy pocos los valores descartados, ya que la mayoría estaban dentro del rango de confianza utilizado.

5.2 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

A continuación se analizan los parámetros físico-químicos y bacteriológicos medidos en el sistema, cuyos valores determinados en el laboratorio se muestran en el anexo H. (Tablas H1-H8) los cuales se comparan con las Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos ^[19]. También se analizó la eficiencia del proceso de tratamiento.

pH. El valor promedio tanto en el afluente como en el efluente fue de 7, este valor está dentro de los límites establecidos por las normas venezolanas ^[12]. Tal valor indica además que el agua residual tanto del afluente como del efluente es neutra, haciéndola de fácil tratamiento biológico.

Temperatura. El valor promedio en el afluente fue de 27,30 °C y en el efluente fue de 27,90 °C.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). El valor promedio en el afluente fue de 143,60 mg/l y en el efluente fue de 45,98 mg/l. Según las normas venezolanas el límite máximo de la DQO es de 350 mg/l en el efluente, lo que implica que el parámetro está por debajo del límite de calidad del vertido.

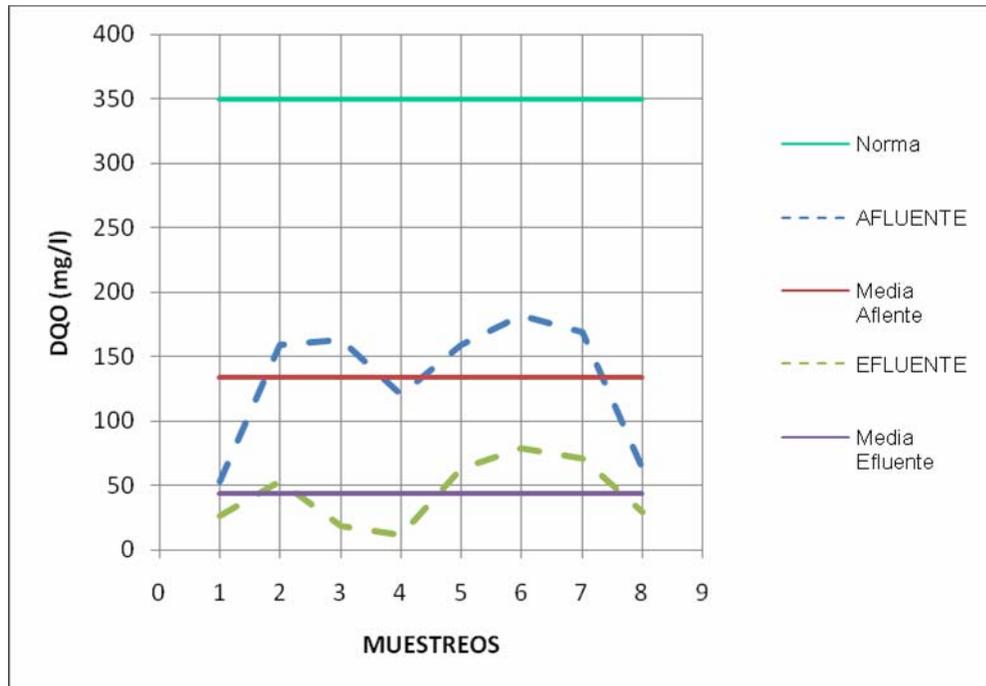


Figura 5.1 Comparación de los valores medio, mínimos y máximos de la DQO con el máximo establecido en la norma venezolana. Fuente propia.

En la figura 5.1 se presentan todos los valores de la DQO obtenidos en cada muestreo, tanto en el afluente como en el efluente, los valores del efluente están por debajo del límite establecido por la norma ^[19]. Se observa también que entre los valores medio de la DQO del afluente (143,60 mg/l) y del efluente (45,98 mg/l) existe una disminución de un 67,98 %. También se pudo observar que el porcentaje de remoción de DQO es mayor que el de DBO mostrado a continuación, esto se debe al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química, presentes en el humedal.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). El valor promedio en el afluente fue de 62,88 mg/l y en el efluente fue de 23,30 mg/l. Según las normas venezolanas ^[19] el límite máximo de la DBO_5 debe ser 60 mg/l en el efluente, lo que implica que el parámetro está por debajo del límite de calidad del vertido.



Figura 5.2 Comparación de los valores medio, mínimos y máximos de la DBO_5 con el máximo establecido en la norma venezolana. Fuente propia.

En la figura 5.2 se presentan todos los valores de la DBO_5 obtenidos en cada muestreo, tanto en el afluente como en el efluente. Se observa que todos los valores del efluente se encuentran por debajo del límite establecido ^[19]. Se observa también que entre los valores medio de la DBO_5 del afluente (62,88 mg/l) y del efluente (23,30 mg/l) existe una disminución de un 62,95 % lo que indica una buena remoción de la materia orgánica por parte del humedal. Esto se debe a los procesos de deposición, filtración y oxidación

bioquímica de la materia orgánica por parte de los microorganismos presentes.

Sólidos Suspendidos Totales (SST). El valor promedio en el afluente fue de 17,74 mg/l y en el efluente fue de 5,49 mg/l. Según las normas venezolanas el límite máximo para SST es de 80 mg/l en el efluente, lo que implica que el parámetro está por debajo del límite de calidad del vertido.

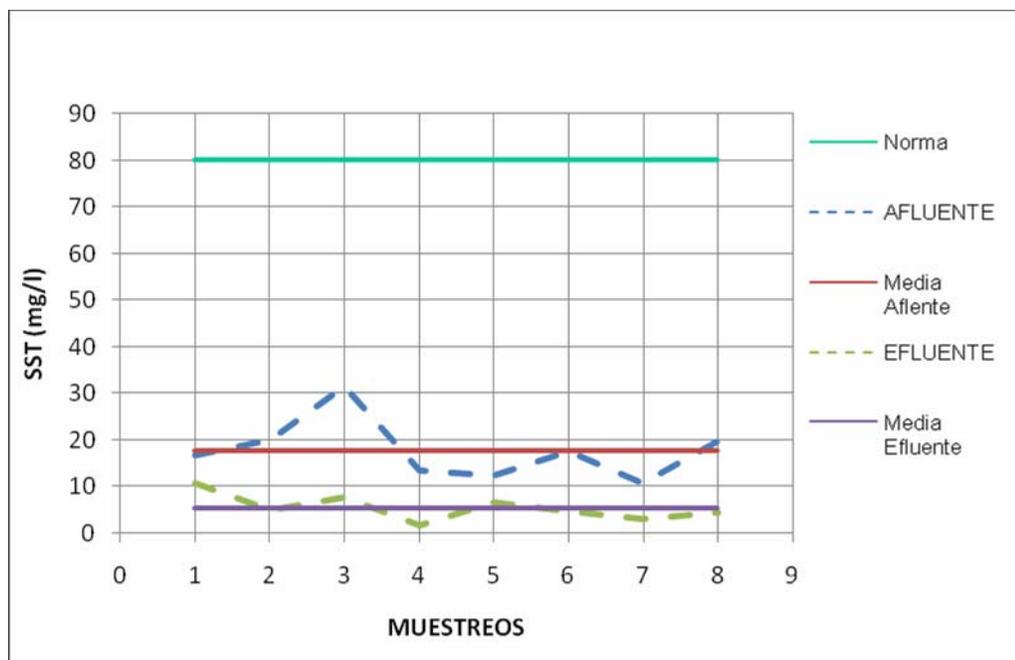


Figura 5.3 Comparación de los valores medio, mínimos y máximos de la SST con el máximo establecido en la norma venezolana. Fuente propia.

En la figura 5.3 se presentan todos los valores de SST obtenidos en cada muestreo, tanto en el afluente como en el efluente, todos los valores del efluente están por debajo del límite establecido por la norma ^[19]. Se observa también que entre los valores medio de la SST del afluente (17,74 mg/l) y del

efluente (5,49 mg/l) existe una disminución de un 69,05 % como resultado de las acciones físicas existentes dentro del humedal, como son la filtración por parte del substrato y sedimentación del material suspendido.

Fósforo Total (PT). El valor promedio en el afluente fue de 3,94 mg/l y en el efluente fue de 2,61 mg/l. Según las normas venezolanas ^[19] el límite máximo para PT es de 10 mg/l en el efluente, lo que implica que el parámetro está por debajo del límite de calidad del vertido.

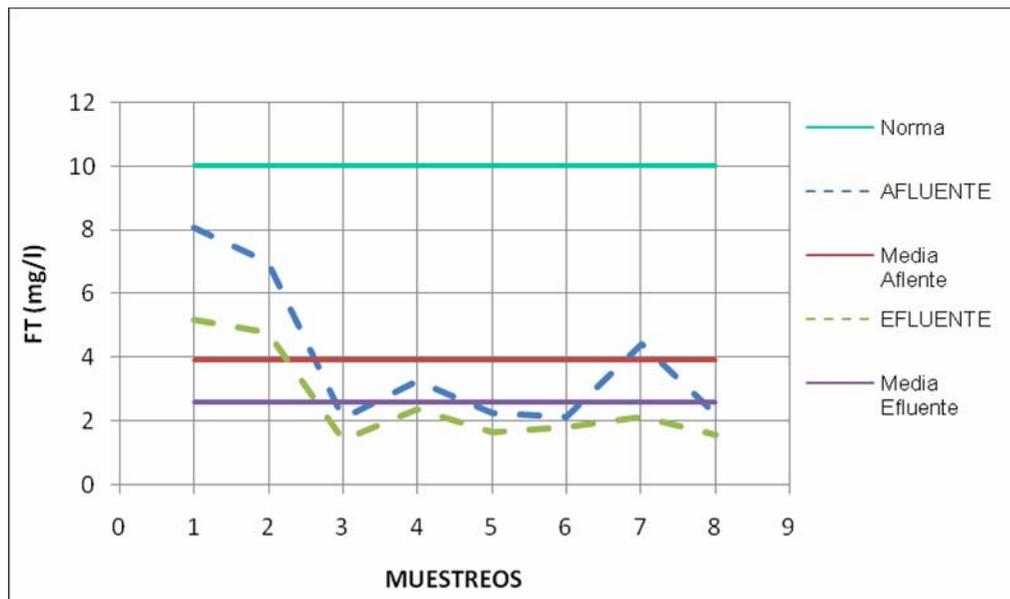


Figura 5.4 Comparación de los valores medio, mínimos y máximos de PT con el máximo establecido en la norma venezolana. Fuente propia.

En la figura 5.4 se presentan todos los valores de PT obtenidos en cada muestreo, tanto en el afluente como en el efluente, todos los valores del efluente están por debajo del límite establecido por la norma ^[19]. Se observa también que entre los valores medio de la PT del afluente (3,94 mg/l) y del

efluente (2,61 mg/l) existe una disminución de un 33,76 %. Dicha disminución se debe principalmente por la captación de fosforo por parte de las plantas existentes en el humedal. También se observó que el porcentaje de remoción es bajo en comparación con otros parámetros, debido a las limitadas oportunidades de contacto de las aguas residuales con el terreno.

Nitrógeno Total Kjeldahl (NT). El valor promedio en el afluente no fue calculado y en el efluente el valor promedio fue de 23,75 mg/l. Según las normas venezolanas ^[19] el límite máximo para NT es de 40 mg/l en el efluente, lo que implica que el parámetro está por debajo del límite de calidad del vertido.

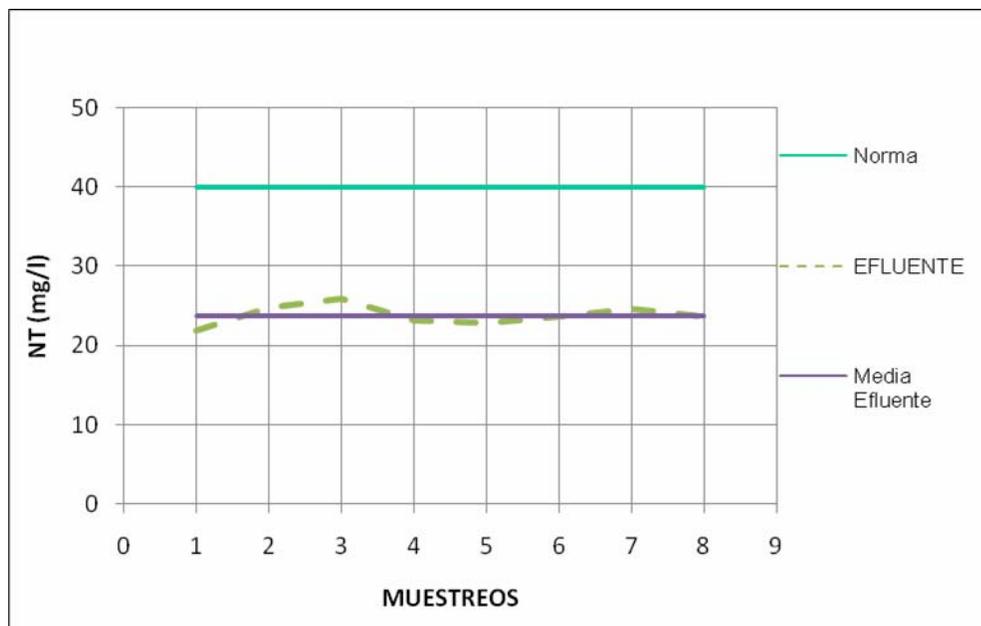


Figura 5.5 Comparación de los valores medio, mínimos y máximos de NT con el máximo establecido en la norma venezolana. Fuente propia.

En la figura 5.5 se presentan todos los valores de NT obtenidos en cada muestreo en el efluente, todos estos valores están por debajo del límite establecido por la norma ^[19], se considera que tales valores son bajos porque un porcentaje del NT que llega al humedal es asimilado por las plantas y el resto el resto es eliminado en los procesos de nitrificación – desnitrificación y posterior perdida de gas a la atmosfera. No se calculo ningún porcentaje de eficiencia por no haber evaluado dicho parámetro en el afluente del sistema.

Coliformes Totales. El valor promedio en el afluente fue de 1301,25 NMP/ 100ml y en el efluente fue de 576,5 NMP/ 100ml. Según las normas venezolanas ^[19] el límite máximo de Coliformes Totales es de 1000 NMP/ 100ml en el efluente, lo que implica que el parámetro está por debajo del límite de calidad del vertido.



Figura 5.6 Comparación de los valores medio, mínimos y máximos de Coliformes Totales con el máximo establecido en la norma venezolana. Fuente propia.

En la figura 5.6 se presentan todos los valores de Coliformes Totales obtenidos en cada muestreo, tanto en el afluente como en el efluente, se observa que la mayoría de los valores del efluente a excepción de un valor, se encuentran por debajo del límite establecido ^[12]. Se observa también que entre los valores medio de Coliformes Totales del afluente (1301,25 NMP/100ml) y del efluente (576,50 NMP/100ml) existe una disminución de un 55,70 %. Tal disminución se produce por la reducción significativa de la población de coliformes presentes en al agua residual estudiada, producto de la sedimentación, filtración y absorción que se dan dentro del humedal.

5.3 COMPARACION DE LOS RESULTADOS CONO LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

En el diseño del humedal se consideraron diversos parámetros, entre ellos se encuentran la DBO (1,6 a 13 g/m²) y los SST (30 mg/l en el efluente). Los resultados de los análisis realizados demostraron que dichos parámetros actualmente están cumpliendo con tales consideraciones.

Tabla N° 5.1 Comparación entre los valores de diseño del humedal y valores actuales resultantes de los ensayos realizados.

	Valores de diseño	Resultados actuales	
DBO (g/m ²)	1,6 a 13	2,3	Cumple
SST (mg/l)	30	5,49	Cumple

5.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA

A continuación se muestran los valores de las eficiencias de algunos de los diferentes parámetros medidos en el sistema de tratamiento de aguas servidas.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). La eficiencia del proceso fue de 67,98 %.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). La eficiencia del proceso fue de 62,95 %.

Sólidos Suspendidos Totales (SST). La eficiencia del proceso fue de 69,05 %.

Fósforo Total (PT). La eficiencia del proceso fue de 33,76 %.

Coliformes Totales. La eficiencia del proceso fue de 55,70 %.

Dando como resultado una eficiencia general del humedal estudiado de 57,88 %.

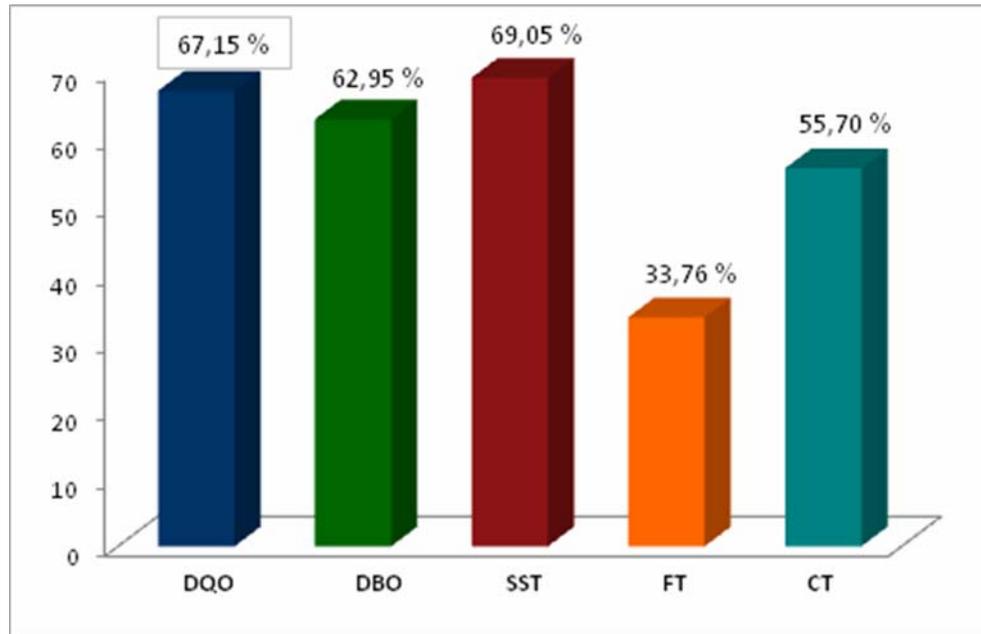


Figura 5.7 Valores de las eficiencias de los diferentes parámetros medidos en el sistema. Fuente propia.

5.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE PLANTAS EXISTENTES EN EL HUMEDAL.

Para la identificación de las especies de plantas presentes actualmente en el humedal se procedió de la siguiente manera:

- 1.) Toma de muestra de las mismas, para detallar sus hojas, tallos y algún tipo de flor.
- 2.) Consulta de libros especializados y consulta a material disponible en internet.

3.) Consulta con diferentes botánicos y personas conocedores del tema.

Las diferentes especies de plantas identificadas se muestran a continuación:

1.) *Acrostichium aureum*



Figura 5.8 *Acrostichium aureum* especie de planta presente actualmente en el humedal. Fuente propia.

2.) *Cyperus articulatus*



Figura 5.9 *Cyperus articulatus* especie de planta presente actualmente en el humedal. Fuente propia.

3.) *Typha domingensis*



Figura 5.10 *Typha domingensis* especie de planta presente actualmente en el humedal. Fuente propia.

4.) *Montrichardia arborescens*



Figura 5.11 *Montrichardia arborescens* especie de planta presente actualmente en el humedal. Fuente propia.

5.) Dieffenbachia seguine



Figura 5.13 Dieffenbachia seguine especie de planta presente actualmente en el humedal. Fuente propia.

6.) Especie no identificada



Figura 5.14 Especie de planta presente actualmente en el humedal que no fue identificada. Fuente propia.

NOTA: A continuación se muestran los días en los que fueron realizados los muestreos, ya que tales días no fueron indicados en las gráficas de la sección 5.2 del presente capítulo, para simplificarlas.

Muestreo 1: 01/03/2010

Muestreo 2: 09/03/2010

Muestreo 3: 17/03/2010

Muestreo 4: 25/03/2010

Muestreo 5: 02/04/2010

Muestreo 6: 10/04/2010

Muestreo 7: 09/05/2010

Muestreo 8: 17/05/2010

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1.) De acuerdo a las mediciones realizadas el caudal medio de entrada al sistema fue de 0,95 L/s, lo que refleja que el mismo trabaja con un aporte por debajo las condiciones de diseño (1,51l/s).

2.) El efluente del sistema de tratamiento presenta los siguientes valores promedio de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, 7 para pH, 43,88 mg/l para la DQO, 23,30 mg/l para la DBO, 2,61 mg/l para el fósforo, 23,75 para el nitrógeno total 5,49 mg/l para SST, las cuales se encuentran por debajo del límite permisible establecido por la norma Venezolana vigente e implica que el proceso de remoción en el sistema de estos parámetros es eficiente aún cuando se observan descuidos en el mantenimiento del humedal.

3.) El valor promedio de coliformes totales en el efluente fue 576,50 NMP/100 ml el cual está dentro de los límites permisibles por la norma Venezolana.

4.) La eficiencia del sistema para la DQO es de 67,15 %, para la DBO es de 62,95 %, para el fósforo total es de 33,76%, para Coliformes Totales. fue de 55,70 % y por SST es de 69,05 %, lo que implica una eficiencia global del sistema de 57,72 %.

5.) Los resultados obtenidos en el efluente o salida del sistema para la turbiedad fueron muy cercanos los valores de turbiedad de un agua limpia que puede ser reutilizada o recuperada

6.) En los análisis observados se realizados se observó que algunos de los parámetros estudiados en la entrada del sistema cumplen con la norma pero la reducción de los mismos por parte del humedal es significativa, arrojando valores mucho más bajos de contaminantes.

7.) Cuando se presentan eventos importantes de lluvia los picos de caudal influyeron negativamente en la eficiencia de la remoción de coliformes.

8.) Al inicio de la zona de tratamiento se observa flujo superficial lo que indica que en dicho sector del humedal no está trabajando de acuerdo a su diseño, se presume que podría ser por acumulación de sedimentos por falta de mantenimiento o obstrucción del flujo por parte de las raíces de las plantas en ese sector.

9.) El mantenimiento del humedal no es realizado correctamente, a pesar de no requerir personal especializado.

10.) Sistemas de tratamientos naturales como el humedal construido estudiado, son alternativas útiles en comparación con los sistemas convencionales, ya que no consuman energía eléctrica y requieren menor mano de obra no especializada para labores de operación y mantenimiento.

11.) Las macrofitas juegan un papel en la depuración de las aguas residuales debido a que absorben los nutrientes de manera importante como el fósforo y el nitrógeno, así como otros contaminantes del agua residual.

12.) Según los valores observados de conductibilidad y salinidad se concluyó que el agua tratada por el humedal puede ser reutilizada para riego de áreas verdes del Automotel.

6.2 RECOMENDACIONES

- 1.) Reparar elementos estructural (tapas metálicas) de la tanquilla de distribución a la entrada del humedal.
- 2.) Realizar mantenimiento y limpieza a las mallas colocadas al principio de la zona de tratamiento, de acuerdo al manual de operación y mantenimiento establecido en el proyecto original
- 3.) La correcta ubicación de las plantas de acuerdo a las especificaciones de diseño en el proyecto del humedal.
- 4.) Chequear periódicamente que no se esté desarrollando flujo en la superficie.
- 5.) Reutilización del efluente del humedal para riego de áreas verdes del Automotel.
- 6.) Para la mayor disminución de coliformes se recomienda la implantación de un sistema de desinfección posterior a la tanquilla de descarga.
- 7.) Verificar periódicamente que las diferentes tanquillas de distribución estén cerradas y evitar así la introducción de residuos sólidos al sistema.
- 8.) Mantener limpias las áreas verdes cercanas al humedal.

BIBLIOGRAFÍA

[1] García, W (2007). Humedales construidos en el Parque Metropolitano Punto Fijo. Extraído desde 25 de Noviembre desde: <http://www.panoramio.com/photo/2284765>.

[2] Zúñiga, J (2002). *Evaluación De Humedales Construidos Para El Pos tratamiento De Aguas Residuales Industriales Tratadas En Reactores Anaerobios*. Trabajo de Magíster en Ingeniería con Mención en Ingeniería Bioquímica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile. Extraído desde el 9 de enero desde: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/zuniga.pdf>

[3] Varela, H (2007). "Evaluación económica de la reutilización de agua para la creación de humedales artificiales". Extraído desde el 9 de enero desde: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5942/1/00.pdf>

[4] Martínez, P (2006). Humedales Artificiales Como Alternativa Para Mejorar La Calidad Del Agua Departamento de Producción Agrícola y Animal, CBS. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, C.P. 04960, México, D.F. Extraído desde el 10 de enero desde: http://74.125.113.132/search?q=cache:az8d-7OvX00J:www.cio.mx/3_enc_mujer/files/extensos/Sesion%25203/S3-FMCT03.doc+HUMEDALES+ARTIFICIALES+COMO+ALTERNATIVA+PARA+MEJORAR+LA+CALIDAD+DEL+AGUA&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ve

[5] Hadad, H (2008) Utilización de humedales construidos para el tratamiento de efluentes industriales. Química Analítica, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829 (3000) Santa Fe, Argentina. Extraído desde el 15 de enero desde: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZQFDcAsbnr4J:www.unl.edu.ar/santafe/museocn/utilizacion-de-humedales.doc+En+la+Universidad+de+Pennsylvania+en+1976,+se+realiz%C3%B3+la+primera+conferencia+internacional+sobre+el+control+biol%C3%B3gico+de+aguas+residuales,+en&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ve>

[6] Romero, J. "Tratamiento De Aguas Residuales". Teoría Y Principios De Diseño. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería. Tercera Edición, Febrero (2004)

[7] Crites- Tchobanoglous."Sistema De Manejos De Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados" Tomo I, II, III. McGrawHill. Colombia. (2000).

[8] Metcalf & Eddy. "Ingeniería de Manejo de Aguas Residuales". Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tomo I, II. McGraw-Hill. Tercera Edición. México. (1996).

[9] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (APHA – AWWA - WEF) Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater

[10] Geyer, F. "Abastecimiento De Água Y Remocion De Água Residuales". Volumen I. Editorial Limusa, México (1974).

[11] Geyer, F. "Abastecimiento De Água Y Remocion De Água Residuales". Volumen II. Editorial Limusa, México (1974).

[12] Gonzalez, L: "Metodología para diseñar y evaluar redes de distribución de água potable (acueducto)". Fondo Editorial UDO Anzoátegui. 1era Edición. (2000).

[13] Murray, S, "Estadística". Ediciones Mc Graw – Hill. 2da. Edición México (1991).

[14] Lara, J. "Depuración De Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales". Extraído desde El 21 de febrero:

<http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/2-componentes-del-humedal>

[15] Lara, J. "Depuración De Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales". Extraído desde El 21 de febrero:

<http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/5-rendimientos-esperados>

[16] Ghanem, A, "Proyecto de sistema de tratamiento de aguas servidas y obras complementarias para El automotel new, municipio Bolívar, estado anzoategui" Inversiones turísticas Caribe, C.A (2005).

[17] Ojeda, R; Villalobos, Z. "Estudio De La Contaminación De Los Drenajes H y T, Municipio Simon Bolívar, Estado Anzoátegui".Tesis de Grado.

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Ingeniería Civil. (2010).

[18] Paliche, J; Lopez, J. "Evaluación del sistema de tratamiento de aguas servidas de la población de Aragua de Barcelona, Municipio Aragua, Estado Anzoátegui." Tesis de Grado. Universidad de Oriente, Nucleo de Anzoátegui, Departamento de Ingeniería Civil. (2007).

[19] MARNR, Gaceta Oficial De La Republica Bolivariana de Venezuela, N° 5021 Extraordinario de La fecha 18-12-95, contenido,"Normas para La clasificacion y control de La calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes liquidos ", caracas (1995).

[20] Diccionario Manual Amador. Inglés-Español. Editorial Ramon Sopena, S.A. Provenza, 93. Barcelona, España. (1970).

GLOSARIO DE TERMINOS BÁSICOS

A

ABIOTICO: Sin vida ni derivado de seres vivos. Componente sin vida del ecosistema. Lugar en que la vida es imposible.

ABUNDANCIA: Número total de los individuos de una población.

ABSORBENTES: Chupan el petróleo de una manera semejante a una esponja. Propiedad selectiva del material que debe tener mayor preferencia por el petróleo que para el agua.

ACLIMATACION: Modificaciones compensatorias en un organismo durante su permanencia bajo condiciones de laboratorio. Término utilizado para acondicionar los organismos sometidos a un bioensayo a las condiciones ambientales del laboratorio donde se conducirán a pruebas, generalmente, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto.

ACLIMATIZACION: Similar a aclimatación, sólo que los cambios son bajo condiciones naturales, como estacionales, climáticas o diferencias geográficas.

ADAPTARSE: Proceso mediante el cual los organismos son capaces de acomodarse a condiciones nuevas. Significa cambio y puede ser conductual o genético.

AEROBICO: Proceso respiratorio en el cual hay consumo de oxígeno.

AEROBIO: Organismo que tan sólo puede vivir y crecer en presencia de oxígeno.

AGUAS NEGRAS: Así se denomina a las aguas contaminadas con desechos orgánicos humanos.

AGUA DE COLA: Fracción líquida obtenida a partir del licor de prensa después de haber eliminado gran parte de los sólidos en suspensión y de la materia grasa.

AGUAS SERVIDAS: Aguas que se abandonan una vez usadas, disponiéndolas en desagües, cursos o masas de agua.

AIREACION: Introducción de aire dentro del agua.

ALGA: Planta que vive en el agua o en ambientes muy húmedos. De estructura simple y carece de flores (luche, cochayuyo, huiro).

AMBIENTE: Medio biótico y abiótico que rodea a un organismo. Conjunto de circunstancias y condiciones externas a un organismo.

ANAEROBICO: Todo proceso respiratorio que no requiere de oxígeno. No requiere de oxígeno libre para llevar a cabo la respiración.

ANOXICOS: Pobre en oxígeno libre; sin oxígeno libre.

ANAEROBICA, DESCOMPOSICION: Es la descomposición incompleta de la materia orgánica por las bacterias, en ausencia de oxígeno.

ANTROPOGENICO: Que es de origen humano, que es producido por el hombre.

AUTOTROFO: Organismo capaz de sintetizar su propio alimento desde fuentes inorgánicas, como ocurre en la mayor parte de las plantas verdes y algunas bacterias.

B

BACTERIA: Grupo de organismos unicelulares pequeños que carecen de núcleo. Algunas producen enfermedades (las patógenas), mientras que otras son beneficiosas para el hombre.

BACTERIA COLIFORME: Bacteria que sirve como indicador de contaminantes y patógenos cuando son encontradas en las aguas. Estas son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y animales de sangre caliente.

BIODEGRADABLE: Que se descompone por la acción biológica. Material de residuos que puede ser llevado a sus componentes básicos por acción de las bacterias.

BIOACUMULACION: efecto biológico pertinente con la capacidad que tiene un tejido vivo para acumular contaminantes, estos pueden ser eliminados o magnificados.

BIOENSAYO: Prueba en la cual la naturaleza peligrosa de una sustancia es determinada por su reacción con un tejido o un organismo vivo.

BIOMASA: Cantidad de materia viva. Es la cantidad de materia en los organismos por unidad de superficie o volumen expresado en unidad de peso. masa de material viviente. Es la cantidad de materia en los organismos por unidad de superficie o volumen expresada en unidad de peso. Cantidad total de material vivo de un cuerpo de agua particular.

BIOSFERA: Corresponde a toda la superficie de la tierra que mantiene vida. Es la integración de todos los ecosistemas del planeta.

BIOTICO: Que posee vida o derivado de seres vivos.

BLOOM: Término que se refiere a un aumento explosivo de la densidad de los organismos. ("Florecimiento"). Se caracteriza por un aumento cuantitativo notable y localizado de algunas especies de plancton produciendo notables descoloraciones del agua.

C

CALIDAD AMBIENTAL: El grado en que el estado actual o previsible de algún componente básico permite que el medio ambiente desempeñe adecuadamente sus funciones de sistema que rige y condiciona las posibilidades de vida en la Tierra. Este grado no se puede cuantificar; solo se lo califica con fundamentos, a través de un juicio de valor.

CADENA ALIMENTICIA O TROFICA: Transferencia de la energía contenida en los alimentos, desde su fuente de origen en las plantas, a través de una serie de organismos, cada uno de los cuales devora al anterior y a su vez es devorado por el siguiente. Transferencia de la energía alimenticia a través de una serie de organismos, con muchos pasos de comer y ser comidos.

.CLIMA: Conjunto de condiciones meteorológicas que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre.

CONSERVACION: Esfuerzo consciente para evitar la degradación excesiva de los ecosistemas. Uso presente y futuro, racional, eficaz y eficiente de los recursos naturales y su ambiente.

CONTAMINACION: Cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente y que puede afectar la vida humana y de otras especies. La presencia en el ambiente, por acción del hombre, de cualquier sustancia química, objetos, partículas, microorganismos, formas de energía o componentes del paisaje urbano o rural, en niveles o proporciones que alteren la calidad ambiental y, por ende, las posibilidades de vida.

CONTAMINADOR: El agente o actor, individual o institucional, responsable de la operación de cualquier sistema que genere contaminación.

CONTAMINANTE: Cualquier factor cuya presencia en un determinado ambiente y circunstancia, constituyan o desencadenen contaminación. Es la sustancia, o forma de energía que normalmente no está presente en el medio ambiente marino, al menos en los niveles que se encuentran con frecuencia y que aparentemente no causan efectos nocivos, Si la concentración se incrementa con el tiempo puede producir efectos nocivos.

CONTAMINANTES: Se definen como todos los elementos, compuestos o sustancias, su asociación o composición, derivado químico o biológico, así como cualquier tipo de energía, radiación, vibración o ruido que, incorporados en cierta cantidad al medio ambiente y por un periodo de tiempo tal, pueden afectar negativamente o ser dañinos a la vida humana, salud o bienestar del hombre, a la flora y la fauna, o causen un deterioro en la calidad del aire, agua y suelos, paisajes o recursos naturales en general.

CRITERIOS DE CALIDAD (Del agua): Usos dados al agua, mejor uso. Vienen definidos por Normas de Calidad que incluyen parámetros y establecen límites.

CUERPO DE AGUA RECEPTOR: masa de agua marina o continental, individualizable por sus características naturales, sus usos o por sus límites administrativos, cuya definición espacial es expresamente definida por la Autoridad Marítima, y que recibe descargas de residuos líquidos.

CAUDAL: flujo de agua superficial en un río o en un canal.

COLOIDES: material de muy pequeño tamaño, en el rango de 10^{-5} a 10^{-7} m de diámetro.

CONCENTRACIÓN: la cantidad de materia disuelta en una unidad de solución, expresado en mg/L.

CONCENTRACIÓN POR NUTRIENTES: contaminación excesiva de las fuentes de agua por una excesiva entrada de nutrientes. En aguas superficiales, la excesiva producción de algas es la mayor preocupación.

D

D.B.O.: Demanda Bioquímica de Oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerida, para estabilizar la materia orgánica contenida en aguas contaminadas o aguas industriales residuales, que pueden descomponerse por la acción de microbios aéreos. Cantidad de oxígeno absorbido por un residuo en descomposición.

DEGRADACION: Transformación de una sustancia a un estado tal que disminuyen sus características de impacto ambiental.

DENSIDAD DE POBLACION: Número de individuos de una población por unidad de superficie o volumen.

DEPURACION: Proceso por el cual se eliminan las impurezas desde el agua. Llegar a ser libre de contaminantes.

DESCOMPONEDOR: Organismos que devuelven al medio los elementos que forman el protoplasma, al consumir a los seres muertos.

DESCOMPOSICION: Es la presencia de olores, sabores y colores objetables o defectos de textura asociados con putrefacción.

DESCARGA CONTINUA: Vertimiento único diario de residuos líquidos, sin interrupción de flujo.

DESECHOS METABOLICOS: Productos derivados de los procesos vitales y que son eliminados del organismo.

DETERGENTE: Compuesto químico que se utiliza para lavar. Aquellos que contienen fosfatos, contaminan y contribuyen a la eutroficación de las aguas.

DETRITUS: Restos que quedan de la desintegración y deterioro de vegetales y animales. Residuos de descomposición de un cuerpo. Término dado para un fragmento de material orgánico generalmente proveniente de la descomposición animal o vegetal.

DISPERSION: Movimiento de los organismos o de sus elementos de diseminación hacia adentro o hacia afuera del área de la población.

DISPERSANTES: Son mezclas que incluyen agentes de superficie activa a fin de reducir la tensión superficial entre el aceite y el agua de mar.

DIVERSIDAD: Número y abundancia relativa de las especies de un área determinada.

DIVERGENCIA: Lo opuesto a Convergencia, se refiere a aguas que se mueven aparte de, o divergen de otras.

D.Q.O.: Demanda Química de Oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua después de corregir la influencia de los cloruros. Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica a partir de un oxidante químico fuerte.

E

ECOSISTEMA: Es la integración de la biocenosis y del biotipo que interactúan a un área dada. Componentes de una comunidad, bióticos y abióticos, asociados en una misma situación.

EFEECTO AMBIENTAL: Una consecuencia medible sobre algún componente básico del ambiente, provocada o inducida por cualquier acción del hombre.

EFLUENTE: Que emana o se desprende de algo. Aguas contaminadas descargadas.

EFLUENTE DOMESTICO: Residuos producidos por los asentamientos humanos-colectividades, incluyen principalmente aguas negras de las ciudades.

EFLUENTE INDUSTRIAL: Residuos provenientes de la industria; pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas, por su comportamiento en las aguas receptoras y en la forma como estos afectan el medio ambiente acuático, generalmente contienen sustancias orgánicas disueltas incluyendo tóxicos, materiales biodegradables y persistentes, sustancias inorgánicas disueltas incluyendo nutrientes, sustancias orgánicas insolubles y solubles.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A.): La predicción o presunción del impacto ambiental de una actividad o proyecto específico, y la proposición de alternativas para prevenir o atenuar los efectos degradantes o deteriorantes del ambiente que puedan seguirse de su realización o ejecución. Se la representa normalmente en un documento público que tiene el mismo nombre de la actividad. Actividad diseñada para identificar, predecir, interpretar y comunicar información sobre el impacto de la acción sobre la salud del hombre o su bienestar.

E.P.A.: Environmental Protection Agency. (Agencia de Protección Ambiental).

ESPECIE: Grupo de poblaciones naturales que se entrecruzan y que están reproductivamente aisladas de otros grupos. Grupo de organismos con características estructurales y funcionales similares que, en la naturaleza, sólo se aparean entre sí y tienen un origen ancestral común cercano.

EUTROFICACIÓN: Enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por su eliminación definitiva por mineralización, de manera que el exceso de materia orgánica producida hace disminuir enormemente el oxígeno en las aguas profundas. Estado de un cuerpo de agua con un gran aporte de nutrientes y, por tanto, con una gran producción de materia orgánica. Viene a significar un enriquecimiento indeseable del agua. Acumulación de nutrientes en un área.

EVOLUCIÓN: Proceso de cambio en el tiempo que experimentan los elementos bióticos y abióticos.

ESCHERICHIA COLI (E. COLI): Bacteria coliformes que esta a menudo relacionada con el hombre, desechos a animales y es encontrada en el intestino. Es usada por departamentos de salud y laboratorios privados para medir la calidad de las aguas.

F

FERMENTACIÓN: Tipo de respiración sin oxígeno en que el aceptor de electrones es un compuesto orgánico.

FILTRACIÓN: Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.

FOTOSÍNTESIS: Proceso mediante el cual las plantas capturan la luz del sol para sintetizar compuestos ricos en energía, como glucosa, a partir de agua y dióxido de carbono. Proceso natural de singular importancia y altamente complejo en virtud de la cual las plantas verdes sintetizan compuestos orgánicos de anhídrido carbónico y agua en asociación con clorofila, bajo la acción de la luz del sol.

H

HUMEDALES: son ecosistemas permanentes o temporales en los que convergen los medios acuático y terrestre, caracterizándose por el alto grado de saturación del suelo por agua. Según este, en ellos se observan zonas predominantemente húmedas, semihúmedas y secas. Son humedales las riberas fluviales, estuarios, zonas intermareales, lagos, pantanos, charcos y chucuas. En ellos la convergencia de agua y suelo es propicia para el desarrollo de formaciones vegetales heterogéneas, lo que les confiere alto grado de biodiversidad manifiesta en una biota singular.

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE: (pantano o ciénaga), son aquellos donde la vegetación está parcialmente sumergida en el agua cuya profundidad varía de 4 a 18 pulg (100 a 450mm). La vegetación común para los sistemas HAFL incluye eneas, carrizos, juncias y juncos.

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL: es donde el agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio

poroso. La vegetación emergente se planta de un medio poroso. La vegetación emergente se planta en el medio, que puede ser desde grava gruesa hasta arena. La profundidad del lecho va desde 1,5 a 3,3 pies (0,45 a 1 m) y tiene una pendiente característica de 0 a 0,5%

I

INDICADORES BIOLÓGICOS: Organismos que por su presencia (o ausencia) tienden a indicar condiciones medio ambientales.

INDICE DE COLIFORMES: una posición de la pureza del agua basada en un conteo de bacterias coliformes.

IMPACTO AMBIENTAL: La alteración positiva o negativa de la calidad ambiental, provocada o inducida por cualquier acción del hombre. Es un juicio de valor sobre un efecto ambiental. es un cambio neto (bueno o malo) en la salud del hombre o en su bienestar.

K

K (CAPACIDAD DE CARGA): Corresponde a la densidad máxima que alcanza una población que se encuentra limitada por los recursos ambientales, en ausencia de depredadores y parásitos.

M

MATERIA ORGÁNICA: sustancias de material de plantas y animales muertos, con estructura de carbono e hidrógeno.

METALES PESADOS: iones de elementos metálicos como cobre, zinc, hierro, cromo y mercurio, los cuales generalmente son removidos del agua mediante la formación de precipitados insolubles, generalmente como hidróxidos metálicos.

MICROORGANISMO: organismo pequeño que no se ve a simple vista (bacteria, virus).

MUESTRA COMPUESTA: una serie de muestras de aguas adquiridas en un periodo de tiempo adquirida en un periodo de tiempo dado y ponderada de un radio de flujo o volumen por unidad de tiempo.

N

NUTRIENTE: Aquello que es causa del aumento, actividad o vigor de algún organismo o grupo de ellos. En aguas marinas, se refiere a los elementos requeridos para mantener el crecimiento del fitoplancton en el mar. Incluye generalmente fosfatos, nitratos, silicatos, pero algunas veces elementos menores del agua de mar como cobre, manganeso, cobalto, hierro.

P

PARAMETRO: Constante numérica cuyo valor caracteriza a un miembro de un sistema. Como función matemática, es una cantidad a la cual el operador puede asignarle un valor arbitrario, se distingue de variable, la cual puede tomar sólo aquellos valores que haga la función posible.

PATOGENO: Que causa enfermedad.

PERTURBACION: Alteración de las condiciones de equilibrio de un sistema.

PLANTA DE TRATAMIENTO: Facilidades para la purificación de residuos o efluentes, mediante métodos mecánicos, físicos, químicos y biológicos o combinación de éstos.

POLUCION: Es sinónimo de contaminación. Es un concepto legal y se refiere a lo que hace que un medio determinado, generalmente fluido, el agua o la atmósfera, se considere ya inapropiado para determinado uso.

POLUTANTE: Es una sustancia que causa contaminación o/y por definición puede causar algún efecto peligroso.

PROTOZO: microorganismo grande, el cual consume bacterias.

PRE-TRATAMIENTO: proceso para reducir o eliminar los contaminantes de las aguas residuales antes de que sean descargada al medio ambiente.

PRESERVACION: La mantención del estado natural original de determinados componentes ambientales, o de lo que reste de dicho estado,

mediante la limitación de la intervención humana en ellos al nivel mínimo, compatible con la consecución de dicho objetivo.

R

RESIDUOS BIOLÓGICOS: Desechos producidos por organismos vivos, mirado desde un punto de vista del hombre.

RESIDUO LÍQUIDO: Efluente residual evacuado desde las instalaciones de un establecimiento productivo o de servicios de carácter público o privado, cuyo destino directo o indirecto son los cuerpos de agua receptores.

RESIDUO INDUSTRIAL LÍQUIDO (RIL): Es el efluente residual evacuado de las instalaciones del establecimiento industrial, con destino directo a los sistemas de recolección de aguas servidas o cuerpos receptores.

S

SEDIMENTACIÓN: Proceso en el cual las sustancias en suspensión se depositan en el fondo.

SEDIMENTO: Material (minerales, materia orgánica, etc.) que habiendo estado suspendido en un líquido, se deposita en el fondo.

SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES: todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento y traspaso.

SISTEMA DE ALCANTARILLADO: tuberías que recogen y transportan aguas residuales desde fuentes individuales hasta una alcantarilla mayor que lo transportará a continuación hacia la planta de tratamiento.

SÓLIDOS TOTALES: es la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: Son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites.

SÓLIDOS DISUELTOS: Son los residuos de la evaporación del agua filtrada, desecados a la temperatura normalizada.

SOLUBILIDAD: Capacidad de ser disuelto.

SUSTANCIAS ORGÁNICAS: se designa una amplia gama de sustancias simples o compuestas, de rápida o lenta degradación y/o persistencia, de ninguna, poca o alta toxicidad, generalmente presentes como residuos de las actividades humanas, que llegan al medio marino por diversas fuentes.

T

TANQUE SÉPTICO: un depósito subterráneo para almacenar las aguas residuales de casas que no están conectadas a las líneas de alcantarillado. Los residuos van directamente desde casas a depósitos.

TOXICO: Venenoso, que posee las propiedades de un veneno.

TRATAMIENTO: Proceso que se lleva a cabo con objeto de purificar un efluente en una forma tal que su disposición no induzca a peligros a la salud humana, la vida marina, etc.

TRATAMIENTO PRELIMINAR: Grado de tratamiento de residuos, generalmente flotación, filtraje, remoción por filtración con arena.

TRATAMIENTO QUIMICO: Tratamiento de efluentes, generalmente oxidación química, reducción, neutralización ácido-alcali, precipitación, coagulación y sedimentación.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: Tratamiento de residuos mediante filtros de arena, lodos activados, lagunas de oxidación, etc.

TRATAMIENTO Terciario: Tratamiento de residuos mediante absorción, electrodiálisis, intercambio iónico.

TURBIEDAD: Es el aspecto que ofrece un líquido a causa de la presencia de materias en suspensión. Su intensidad puede servir para apreciar la concentración de estas materias.

VARIANZA: Dispersión que presenta un conjunto de datos en torno a la media. Medida de dispersión de los datos con respecto al promedio.

VARIABILIDAD: Medida de la incertidumbre de la medición. El conocimiento de la confiabilidad de una medición expresada en términos de la variabilidad del error, da un índice de la utilidad de los datos.

VIRUS: Grupo de microorganismos infecciosos, causantes de numerosas enfermedades en el hombre y animales. Son tan pequeños que no se alcanzan a ver con el microscopio óptico.

VOLATILES: Que se evapora rápidamente.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	COMPORTAMIENTO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PARA TRATAR EL EFLUENTE DE SÉPTICOS EN UN AUTROMOTEL UBICADO EN EL MUNICIPIO BOLÍVAR DEL ESTADO ANZOÁTEGUI
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
BRITO LÁREZ, WILLMAN RAFAEL	CVLAC: 17.732.111 E MAIL: willmanbrito@hotmail.com
RAMOS BRITO, CARLOS DE JESÚS	CVLAC: 17.009.978 E MAIL: carlosjesus184@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Humedales construidos

Aguas residuales

Obras sanitarias

Sistemas de tratamiento

Aguas servidas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERIA CIVIL

RESUMEN (ABSTRACT):

En esta investigación se realizó la evaluación de un humedal construido que trata el efluente de pozos sépticos, ubicado dentro de las instalaciones del Automotel New, el cual está situado en la vía de Pele el Ojo municipio Simón Bolívar del estado Anzoátegui, con la finalidad de determinar su funcionamiento. Para ello se realizó un muestreo durante un lapso de ocho (8) semanas, tomando muestras semanales, en el afluente y el efluente del humedal. Se midieron valores in situ de pH y temperatura y en el laboratorio se determinaron valores de DBO, DQO, SST, SSV, NT, PT, Coliformes Totales y Fecales.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ghanem, Ana	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Sebastiani, Belkis	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ramirez, Maria	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010		
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2
3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO CIVIL

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE CIVIL

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

DE ACUERDO CON EL ARTICULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE: “LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS POR OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.

BRITO LARÉZ, WILLMAN R.

AUTOR

RAMOS B., CARLOS DE J.

AUTOR

ANA GHANEM

TUTOR

BELKIS SEBASTIANI

JURADO

MARIA RAMIREZ

JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

YASSER SAAD