



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN AUDITORÍA AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN 1 PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN AUDITORÍA AMBIENTAL**

**TEMA: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS - ESPE.**

AUTOR: Ing. URBINA CEPEDA, RICARDO OCTAVIO

DIRECTORA: Ing. ATIAGA FRANCO, OLIVA LUCÍA Msc.

SANGOLQUÍ

2018




**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE” fue realizado por el señor **Ing. URBINA CEPEDA RICARDO OCTAVIO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de octubre de 2018

.....

.....
Ing. JÁCOME ENRIQUEZ WILSON OSWALDO Msc.

C.C.: 0400627097



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ing. URBINA CEPEDA RICARDO OCTAVIO**, con cédula de ciudadanía No 1801925072, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 04 de octubre de 2018

.....
Ing. URBINA CEPEDA RICARDO OCTAVIO

C.C.: 1801925072



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ing. URBINA CEPEDA RICARDO OCTAVIO** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE publicar el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 04 de octubre de 2018


.....
Ing. URBINA CEPEDA RICARDO OCTAVIO
C.C.: 1801925072

DEDICATORIA

A mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo, a mi esposa AIDE quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir, a mis Hijos quienes constituyen mi inspiración para seguir adelante, a todos los que me apoyaron para escribir y concluir el presente proyecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme fortaleza y sabiduría; y, ser fuente de inspiración y de superación. A la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, por el apoyo y recursos brindados. A mis padres, que me enseñaron, apoyaron y respaldaron mis anhelos y sueños para convertirme en el ser humano que soy. A mi esposa AIDE y mis hijos RICKY y SOFÍA, que se preocuparon y me apoyaron incondicionalmente para que culmine con éxito mis estudios. A la Ing. Oliva Atiaga Msc., directora de mi Proyecto de grado, por su acogida, respaldo y conocimientos brindados.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPITULO I.....	1
Introducción	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4.3 Metas.....	5
1.5 MARCO LEGAL.....	5
1.5.1 Organización de la Naciones Unidas (ONU).....	5
1.5.2 Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017.....	6
1.5.3 Constitución Política del Ecuador.....	6
1.5.4 Ley de gestión Ambiental.....	7
1.5.5 ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.....	7
1.5.6 Ley Orgánica de Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua.....	8
1.5.7 Texto Unificado de la Legislación Secundaria del MAE-TULSMA (Reformado).....	8

CAPITULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1 AGUAS RESIDUALES.....	10
2.1.1 Definición de aguas residuales.....	10
2.1.2 Fuentes de aguas residuales.....	10
2.1.3 Tipos de aguas residuales.....	10
2.1.4 Principales parámetros de aguas residuales	11
2.1.4.1 Parámetros Químicos.....	11
2.1.4.2 Parámetros Físicos.....	17
2.1.4.3 Parámetros Biológicos.....	20
2.2 HUMEDALES	21
2.2.1 Tipos de humedales.....	21
2.2.1.1 Humedales naturales.....	21
2.2.1.2 Humedales artificiales.....	23
2.2.2 Componentes de un humedal artificial	28
2.3 TEORÍA DEL MUESTREO	30
2.3.1 Muestreo de Aguas Residuales.....	30
2.3.1.1 Puntuales.....	31
2.3.1.2 Compuestas.....	31
2.3.2 Caracterización de efluentes líquidos.....	32
2.3.3 Lugar de muestreo.....	32
2.3.4 Duración del Programa de muestreo.....	32
2.3.5 Preservación de las muestras.....	33
2.3.6 Adición de reactivos químicos.....	33
2.3.7 Empleo de frío extremo, congelación y/o mantenimiento	33
2.3.8 Conservación utilizando frío moderado (4° C).....	33
2.3.9 Volumen de la Muestra	34
2.3.10 Pruebas in situ	34
2.3.11 Métodos de Análisis.....	34

CAPITULO III.....	35
DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	35
3.1 INTRODUCCIÓN	35
3.2 PLANIFICACIÓN DEL MUESTREO	36
3.2.1 SELECCIÓN CANTIDAD Y LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	37
3.2.2 SELECCIÓN DE LAS FECHAS DE MUESTREO	38
3.2.3 SELECCIÓN DE LA CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS	38
3.2.4 PARÁMETROS A MEDIR Y CONDICIONES DE MUESTREO	38
3.2.5 CADENA DE CUSTODIA	39
3.2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO	39
3.3 RESULTADOS	42
3.4 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	45
3.5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	46
CAPITULO IV	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del lecho de Fito depuración en la Univesrsidad de las Fuerzas Armadas-ESPE	2
Figura 2. Mantenimiento de la Planta de tratamiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE	3
Figura 3. Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.	25
Figura 4. Vista esquemática de un humedal artificial de flujo superficial.	26
Figura 5. Vista esquemática de un humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal.	27
Figura 6. Vista esquemática de un humedal sub-superficial de flujo vertical.....	28
Figura 7. Ubicación de los puntos de muestreo	37
Figura 8. Análisis de la concentración de la DBO ₅	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de agua residual según la relación de biodegradabilidad</i>	12
Tabla 2. <i>Resumen de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales</i>	20
Tabla 3: <i>Coordenadas de los Puntos de Descarga</i>	37
Tabla 4: <i>Cadena de custodia para varios parámetros</i>	39
Tabla 5. <i>Métodos de análisis en el laboratorio Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE</i>	41
Tabla 6. <i>Datos procesados de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos</i>	43
Tabla 7. <i>Promedio de los resultados encontrados en las campañas de muestreo</i>	44
Tabla 8. <i>Cálculo de la eficiencia de remoción comparado con la composición promedio de aguas residuales</i>	46
Tabla 9. <i>Extracto de los límites máximos permitidos para la descarga en cuerpo de agua dulce y valores obtenidos en el punto de descarga al Rio Santa Clara</i>	47

RESUMEN

El presente trabajo investigativo, tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, la cual tiene una área aproximada de una Hectárea y da servicio a aproximadamente 3000 personas por día; la finalidad del estudio es determinar si efectivamente la planta de tratamiento cumple con los parámetros que exige la normativa ambiental vigente en cuanto a descarga de efluentes a sistemas de agua dulce, en este caso el río Santa Clara. Hasta el 2008, no se ha realizado un análisis completo del líquido efluente del sistema de remediación, capacidad de remoción y tampoco se ha cuantificado la eficiencia de este sistema de tratamiento. En la investigación, se utilizó la técnica del muestreo de aguas residuales, se planificó el muestreo, se determinó la cantidad y se seleccionó los puntos y fechas de muestreo; y, por último, se estableció la cadena de custodia, previo a los ensayos de laboratorio en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. La eficiencia de remoción de DBO_5 presentada por la planta de tratamiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, fue de 88,89 %, valor que se enmarca en las eficiencias teóricas aceptadas. Remueven materia orgánica, pero no están concebidos para la remoción de coliformes. El porcentaje de eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, fue del 21,71 % que es bajo, sin embargo, cumple con el Acuerdo Ministerial 061.

PALABRAS CLAVE:

- ✓ **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- ✓ **EFICIENCIA DE REMOCIÓN**
- ✓ **TÉCNICA DE MUESTREO**

ABSTRACT

The main objective of this research work was to evaluate the current efficiency of the wastewater treatment plant of the Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, which has an approximate area of one hectare and serves approximately 3000 people per day; The purpose of the study is to determine if the treatment plant actually meets the parameters required by the current environmental regulations in terms of discharge of effluents to freshwater systems, in this case the Santa Clara River. Until 2008, a complete analysis of the liquid effluent of the remediation system, removal capacity and the efficiency of this treatment system has not been quantified. In the research, the wastewater sampling technique was used, the sampling was planned, the quantity was determined and the sampling points and dates were selected; and, finally, the chain of custody was established, prior to laboratory tests in the laboratories of the University of the Armed Forces-ESPE. The removal efficiency of BOD5 presented by the treatment plant of the Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, was 88.89%, a value that falls within the accepted theoretical efficiencies. They remove organic matter, but they are not designed for the removal of coliforms. The removal efficiency percentage of the wastewater treatment plant of the University of the Armed Forces-ESPE, was 21.71%, which is low, however, it complies with Ministerial Agreement 061.

KEYWORDS:

- ✓ **WASTEWATER TREATMENT PLANT**
- ✓ **REMOVAL EFFICIENCY**
- ✓ **SAMPLING TECHNIQUE**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La conciencia ambiental que fomenta la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE hace que en el año 2007, vea la necesidad de construir una planta de tratamiento de aguas residuales. Inicialmente, las aguas negras y grises se descargaban directamente al río Santa Clara, lo que contradecía la conciencia y la legislación ambiental.

La planta de tratamiento, se concibió desde sus inicios con tecnologías ambientalmente amigables, por lo que se maduró la idea de un diseño en función de la Fito remediación (humedales construidos), que constituye un enfoque alternativo a los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, con la gran ventaja de la reducción o el uso nulo de fuentes de energía externas y aditivos químicos (Brix y Arias, 2003; García y Corzo, 2008; Mena, 2008) (Mena, 2008). Estos sistemas son ampliamente utilizados en Europa como sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales (Kadlec & Wallace, 2008), (Kadlec, 2008).

El sistema de tratamiento corresponde a un humedal artificial de flujo sub-superficial sin espejo de agua y nivel controlado, con escurrimiento horizontal. El área que ocupa la planta de tratamiento es de aproximadamente una hectárea, y está conformada por cuatro lechos excavados en tierra e impermeabilizados, los mismos que contienen las plantas vasculares de pantano.

Para cumplir con el objetivo de depuración, se realizó un estudio para la selección de la especie que guardaría el equilibrio entre función depuradora-costo-calidad, llevando a los diseñadores a escoger a la *Echinochloa polystachya* conocida con el nombre común de pasto alemán.

La planta de tratamiento de aguas residuales (aguas negras y grises) da servicio a las edificaciones del Campus Universitario y está ubicada a orillas del río Santa Clara en su margen derecha, como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación del lecho de Fito depuración en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

La construcción de la planta inicia en agosto de 2007, entrando en funcionamiento en enero de 2008. El diseño de la planta fue estimado para una población de 3000 personas/día, con una proyección de crecimiento del 20% en los próximos 15 años, un caudal de tratamiento correspondiente a 420 m³/día, valor que se encuentra dentro de los parámetros mundiales de rendimiento de la Fito remediación.

Estos sistemas de humedales tienen costos de operación y mantenimiento bajos. En la Figura 2, se observa la planta de tratamiento en un período de mantenimiento, aproximadamente en el año 2010.



Figura 2. Mantenimiento de la Planta de tratamiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La tecnología escogida para la planta de tratamiento es de las más amigables con el planeta, pero funcionalmente es necesario monitorear continuamente y tener evidencia del cumplimiento de la normativa vigente.

Al inicio no se contempló un plan de monitoreo del vertido al cuerpo de agua, lo que convertía al producto del tratamiento, en una verdadera incógnita. Posteriormente en los años 2010, 2013 y 2014 se realizan monitoreos trimestrales, únicamente orientados a la determinación de la materia orgánica, sin realizar un análisis integral de todos los parámetros que definen la eficiencia total del sistema de tratamiento.

Es fundamental determinar si la planta está cumpliendo con los objetivos de diseño, para lo cual es necesario evaluar la eficiencia de la misma, a través de las mediciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan las aguas residuales y las aguas tratadas de acuerdo al Libro VI, Anexo 1 del TULSMA (Ministerio Del Ambiente, 2015).

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el giro mundial actual es básico para cualquier país la conservación del capital natural. Así lo ha entendido el Ecuador y por ello ha expedido y actualizado la normativa ambiental.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), amparado en lo publicado en Libro VI, Anexo 1 del TULSMA, (Ministerio Del Ambiente, 2015), donde el Estado Ecuatoriano regula explícita y enfáticamente los límites permitidos para la descarga del efluente en sistemas de agua dulce, evidencia que la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, no tiene documentación del cumplimiento de esta normativa, ni de la eficiencia de su sistema depurador de aguas.

Desde la puesta en funcionamiento de la planta de tratamiento, no se planteó un sistema de monitoreo periódico. A partir del año 2010 se realizan mediciones trimestrales, las cuales fueron enfocadas para determinar los parámetros básicos de análisis como DQO y DBO₅, sin embargo no se ha realizado un análisis completo del líquido efluente del sistema de remediación y tampoco se ha cuantificado la eficiencia de este sistema de tratamiento en la actualidad, por lo que se torna fundamental la determinación del cumplimiento de los objetivos de diseño, eficiencia y por tanto del cumplimiento de los parámetros pertinentes e indicados en la Tabla 12 del anexo 1 del Libro VI del TULSMA. (Ministerio Del Ambiente, 2015).

Además de lo expuesto, el presente estudio contribuye a la evaluación de la idoneidad del sistema de tratamiento para el objetivo requerido, cumpliendo con lo dispuesto por los estamentos gubernamentales y así evitar, observaciones, no conformidades,

suspensiones temporales, multas entre otras sanciones, por parte de la entidad competente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Monitorear parámetros fisicoquímicos y biológicos para la determinación de la eficiencia de la planta.
- ✓ Determinar la capacidad de remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- ✓ Identificar la capacidad de remoción de coliformes totales y fecales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

1.4.3 Metas.

- ✓ Monitoreo de los siguientes parámetros: pH, conductividad, temperatura, nitratos, amoniacado, nitritos, DBO, DQO, coliformes totales y fecales.
- ✓ Determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

1.5 MARCO LEGAL

En lo que corresponde al marco legal, a continuación se hace referencia a la normativa más importante vigente a nivel internacional y en el país, respecto a Aguas Residuales:

1.5.1 Organización de las Naciones Unidas (ONU).

En el año 2000, en el marco de la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas, durante la Cumbre del Milenio, fueron establecidos ocho objetivos y un conjunto de metas e indicadores básicos, varios de ellos referidos a temas centrales para lograr la sostenibilidad ambiental, con un horizonte de cumplimiento fijado para el año 2015. El ODM 7: “**GARANTIZAR LA SOSTENIBILIDAD DEL MEDIO AMBIENTE**”, está relacionado estrechamente con lo que el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) llamado la Seguridad Hídrica, cuya meta 10, espera reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible a agua potable y saneamiento básico.

1.5.2 Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017.

El Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 en su OBJETIVO 7: “**Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global**”, propone el derecho ciudadano a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación y sustentable, y la garantía de los derechos de la naturaleza, a través de una planificación integral que conserve los hábitats, gestione de manera eficiente los recursos, repare de manera integral e instaure sistemas de vida en una armonía real con la naturaleza. Dentro de las políticas frente a este Objetivo se plantea: **7.6)** Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua; **7.7)** Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental.

1.5.3 Constitución Política del Ecuador.

Nuestra constitución respecto al recurso agua indica lo siguiente: **Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin

perjuicio de otras que determine la ley: **4.** Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, **depuración de aguas residuales**, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley. La Sección Sexta “Agua” **Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico.

1.5.4 Ley de Gestión Ambiental.

La Ley de Gestión Ambiental promulgada en julio de 1999, no hace referencia específica al tema del manejo de las aguas residuales, tampoco a lo que concierne al control de la contaminación y protección del recurso hídrico. Lo que si realiza es sentar las bases necesarias para la creación de reglamentaciones y normativas idóneas con el fin de garantizar la calidad del agua tanto para consumo como para regadío y descargas de aguas residuales. El TITULO I ÁMBITO Y PRINCIPIOS DE LA LEY **Art. 1.-** La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los **límites permisibles**, controles y sanciones en esta materia.

1.5.5 Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Es promulgada en septiembre de 2004, hace referencia al deber del Estado Ecuatoriano en precautelar la buena utilización y conservación de los recursos naturales del país, en pro del bienestar individual y colectivo, de ahí que en su capítulo II habla sobre la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas: **Art. 7.-** El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en coordinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos

residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor. El **Art. 8.-** Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, fijarán el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen. El **Art. 9.-** Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley.

1.5.6 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

Es promulgada en agosto de 2014, y es un instrumento legal cuyo objeto es garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir. El **Art. 80.- Vertidos**: Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público..... Es responsabilidad de los GAD`S el tratamiento de las aguas servidas evitar la contaminación de las aguas. El **Art. 81.- Autorización administrativa de vertidos**. Los GAD`Sdentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley.....

1.5.7 Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente - TULSMA- (Reformado).

El TULSMA, es dictado al amparo de la Ley de Gestión Ambiental y su Reglamento, a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; y, se somete a las disposiciones de éstos, es de

aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. El Anexo 1 del libro VI del TULSMA, expide la **NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA**, que su última reforma corresponde al Acuerdo Ministerial N° 061 de fecha 4 de mayo de 2015. Esta norma técnica, en lo relativo al **recurso agua**, su objetivo principal es proteger la calidad del recurso agua. La preservación, conservación y recuperabilidad del recurso agua deben realizarse en los términos de la presente norma. En el contenido **4.2.3 Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor**: hace referencia a la TABLA 12 donde se presentan los valores máximos permisibles de descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce, para los parámetros básicos de aguas residuales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

La generación de aguas residuales es un derivado inevitable de cualquier actividad poblacional e industrial. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos de consumo. Es un hecho que el verter aguas residuales sin depurar ocasiona graves daños al ecosistema circundante, en ocasiones irreversibles, al medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas acuáticos como flora y fauna. Por otro lado, el vertido de aguas residuales no tratadas supone riesgos para la salud pública, como podemos comprobar a diario a través de los medios de comunicación. Es por esto que es preciso el tratamiento de este tipo de aguas antes de verterlas a un lecho natural. (Alianza por el agua , 2008)

2.1.1 Definición de aguas residuales

El Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador (MAE) sobre aguas residuales dice: “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original”. (Ministerio Del Ambiente, 2015).

2.1.2 Fuentes de aguas residuales

No existe una manera específica para clasificar las fuentes de las aguas residuales, en muchos de los casos dependerá del estudio que se vaya a realizar.

2.1.3 Tipos de aguas residuales.

El MAE, 2014, (Ministerio Del Ambiente, 2015), clasifica a las aguas residuales en:

- ✓ *Aguas residuales domésticas*: residuos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios, instalaciones comerciales o asentamientos

humanos en general, caracterizadas por contener sustancias biodegradables, detergentes y microorganismos patógenos.

- ✓ *Aguas residuales industriales:* residuos líquidos provenientes de las actividades industriales.
- ✓ *Aguas residuales mineras:* Residuos líquidos provenientes de las actividades mineras caracterizadas porque contienen cianuros, mercurio, azufre y sedimentos provenientes de minería.
- ✓ *Aguas residuales municipales:* De origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.
- ✓ *Aguas servidas:* Son aguas residuales, contaminadas por uso doméstico, industrial o agrícola.
- ✓ *Aguas Negras:* líquidos provenientes de inodoros; contienen excrementos humanos, orinas y coliformes fecales.

También, las aguas residuales provienen de escorrentías de usos agrícolas y pluviales. Las escorrentías de usos agrícolas arrastran con ellas fertilizantes (fosfatos) y pesticidas. Las aguas pluviales en zonas urbanas pueden tener efectos contaminantes significativos. (Ramalho, 2008)

Para el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE las aguas que son vertidas allí son de tipo doméstico, municipal y negras.

2.1.4 Principales parámetros de aguas residuales

Los principales parámetros para la caracterización de aguas residuales se dividen en químicos, físicos y biológicos.

2.1.4.1 Parámetros Químicos.

Los principales parámetros que tienen que considerarse en el estudio de las aguas residuales son: pH, alcalinidad, nitrógeno, fósforo, materia orgánica, compuestos tóxicos y gases.

- ✓ *Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅)*: es el oxígeno necesario para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en 5 días, representa la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual y es el parámetro más utilizado para medir la calidad de las aguas residuales y superficiales.
- ✓ *Demanda química de oxígeno (DQO)*: es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica oxidable presente en el agua.

La relación DBO/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales. Si la relación es de 0.5 o más significa que es fácilmente biodegradable mientras que si es de 0.3 o menor no es fácilmente biodegradable e incluso podría presentar sustancias tóxicas. (Eddy, 1995)

En la tabla 1 se muestra la clasificación del tipo de aguas según la relación DBO/DQO.

Tabla 1

Tipos de agua residual según la relación de biodegradabilidad

Tipo de Agua Residual	DBO/DQO
Cruda	0.3 a 0.8
Después de sedimentación primaria	0.4 a 0.6
Efluente final	0.1 a 0.3

Fuente: (Eddy, 1995)

- ✓ *pH*: es la medida de la acidez o la basicidad del agua residual. El rango de pH que permite la actividad biológica en el agua residual es típicamente de 6 a 9. Los valores de pH de los vertidos de aguas residuales pueden oscilar mucho, en el caso de las aguas residuales domésticas están cercanos a los valores del agua potable; por el contrario, las aguas industriales presentan diferentes valores en función de la actividad industrial que las genere. Las aguas de minería, metalúrgicas e industrias químicas suelen tener carácter ácido, mientras que las aguas de minas calcáreas, industrias de bebidas no alcohólicas tienen carácter básico (Marín, 2003). Un valor inadecuado de pH en las aguas residuales puede afectar el desarrollo de los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos; también, el pH debe mantenerse dentro de los límites para la garantizar la efectividad de los procesos químicos.
- ✓ *Alcalinidad*: resulta de la presencia de los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como Ca (el más común), Mg, Na, K y radicales como el NH_4^+ (Sincero & Sincero, 2003). Por otra parte, en aguas residuales en ausencia de oxígeno la alcalinidad se debe a las sales de ácidos orgánicos, tales como el acético y el propiónico. También se debe principalmente a sales de ácidos débiles con base fuerte o a bases fuertes. La alcalinidad ayuda a resistir el cambio de pH durante el tratamiento anaerobio de las aguas residuales, considerándose la relación ácidos volátiles/alcalinidad bicarbonática para evidenciar la eficiencia del proceso, también es importante en los procesos de coagulación y control de la corrosión. La alcalinidad es una medida de la capacidad buffer del agua residual. (Eddy, 1995)
- ✓ *Nitrógeno*: es un nutriente necesario para el desarrollo de la flora acuática. Puede estar presente en las aguas residuales como nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. El nitrógeno orgánico presente en el agua se encuentra formando parte de compuestos tales como proteínas, polipéptidos y aminoácidos, también puede provenir de las industrias de fertilizantes, explosivos y fibra sintética. En el caso de

aguas residuales domésticas los compuestos de nitrógeno generalmente presentes son urea y amoníaco. En cuanto a los problemas causados, las concentraciones elevadas de nitrógeno están relacionadas con el proceso de eutrofización, además pueden tener impacto sobre los peces. Las aguas con nitrógeno amoniacal y su posterior oxidación pueden reducir seriamente los niveles de oxígeno disuelto en los cuerpos receptores, afectando el desarrollo de la vida acuática.

- ✓ *Fósforo*: es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y organismos biológicos. Se encuentra en las aguas como fósforo orgánico, ortofosfato y polifosfato, proveniente del metabolismo de proteínas y expulsado en desechos humanos o eliminado por la orina y de los detergentes. Las aguas residuales domésticas que contienen cantidades de fósforo en exceso pueden dar origen al crecimiento excesivo de algas. También puede ser un factor limitante para el desarrollo de los microorganismos durante el tratamiento de aguas residuales, generalmente asociado a residuos industriales.
- ✓ *Compuestos inorgánicos tóxicos*: se encuentra el As, CN, F y los metales pesados (Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe y Hg). Generalmente provienen de las industrias de limpieza de metales, niquelado, refinerías de bauxita, industrias del cloro e industrias de curtido. Los metales pesados están considerados como contaminantes prioritarios, son tóxicos tanto para la fauna acuática como para el hombre y tienen la característica de irse acumulando en el organismo hasta alcanzar las concentraciones necesarias para ser letales. Sin embargo, algunos de ellos son indispensables para el normal desarrollo de vida biológica.
- ✓ *Materia orgánica*: tiene origen vegetal y animal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Su presencia en las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, constituye una de las alteraciones de mayor importancia por sus efectos sobre el ambiente. Entre los principales grupos de sustancias orgánicas encontrados en las aguas residuales

están: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, así como otros compuestos orgánicos sintéticos de estructura simple a compleja (agentes tensoactivos, contaminantes prioritarios, fenoles, COV y productos de uso agrícola). En la mayoría de los casos, se miden en función de la DQO y la DBO. La materia orgánica requiere para ser oxidada grandes cantidades de oxígeno, por esta razón cuando se descargan aguas residuales con elevada DBO y DQO en el entorno acuático, su estabilización o degradación de oxígeno. Por otra parte, las sustancias orgánicas no biodegradables permanecerán en el agua dando origen a alteraciones físicas, tales como olores desagradables, formación de espumas, acumulación de materia flotante e interferencia en la vida biológica de las aguas superficiales. En relación a los productos de uso agrícola, que se incorporan a las aguas residuales desde la escorrentía de campos y terrenos, generalmente presentes a nivel de trazas, tales como plaguicidas, herbicidas y otros productos químicos, son tóxicos para la mayor parte de las formas de vida, además de su elevada resistencia a la degradación o persistencia y carácter acumulativo. De igual manera, los contaminantes prioritarios de origen orgánico están relacionados a los procesos carcinógenos, mutación o alta toxicidad. Muchos de éstos comprenden a los COV y pueden afectar directamente la salud. La materia orgánica está compuesta de una mezcla compleja de biopolímeros, algunos compuestos, tales como proteínas, hidratos de carbono y lípidos se degradan de una manera más fácil por microorganismos (lábilis), a diferencia de otros compuestos, tales como la lignina y la hemicelulosa, son resistentes a la descomposición (recalcitrantes). Los biopolímeros se degradan en un proceso de múltiples pasos: Exoenzimas, fermentación primaria, acetogénesis, segunda fermentación de acetogénesis. En primer lugar, los microorganismos simplifican polímeros a monómeros tales como aminoácidos, ácidos grasos y monosacáridos (Vymazala & KröpfelováJan Vymazala, 2009). El destino de la materia orgánica disuelta proveniente de los humedales es una de las principales preocupaciones sobre la calidad del agua. La materia orgánica puede proporcionar energía

bacteriana para des-nitrificación, complejo con metales y compuestos hidrófobos además de reducir la penetración de la luz en el agua. En las regiones áridas del mundo, los humedales construidos son descargados a un destinatario que puede servir como una fuente de agua potable aguas abajo. El tratamiento de agua potable por lo general incluye a desinfección química (por ejemplo cloro) y las reacciones entre los desinfectantes y materia orgánica puede formar subproductos carcinógenos (por ejemplo trihalometanos). Los mecanismos que afectan la concentración de la materia orgánica disuelta a lo largo del tratamiento con humedales incluyen: biodegradación, volatilización, absorción y la contribución de los humedales. Como criterio general, a continuación, se menciona valores para diferentes tipos de agua:

- ✓ Aguas Residuales Municipales: DBO5: 220mg/L, COD: 500 mg/L, TSS: 220 mg/L, NH4-N: 25 mg/L.
- ✓ Industrias Petroquímicas y Químicas DBO5 : 10-1000 mg/L, DQO: 50-4000 mg/L)
- ✓ Aguas residuales Agrícolas- Granjas de cerdos efluentes DBO5: 8000 mg/L, DQO:15000 mg/L, TSS: 70000 mg/L

El uso de plantas no convencionales como plantas emergentes en los humedales artificiales incluye grandes beneficios económicos para tratar aguas residuales. Entre las especies más utilizadas se tiene: *Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreanum*, *Agapanthus africanus* y *Echinochloa polystachya*, estas han sido investigadas en dos tipos de humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas domésticas. (Zurita & J., 2009)

Los humedales artificiales tienden a tener modelos horizontales y verticales. Sin embargo los resultados obtenidos en diversos trabajos para la remoción de contaminantes fueron significativamente mayores en los humedales de flujo vertical dando como resultado remociones promedio de más el 80% para DBO5 y DQO; 50,6 % de Org-N; 72% para el NH4 +, 50% para el P (fósforo) y el 96,9 % para los SST. Y

solo dos contaminantes se eliminaron estadísticamente en los humedales de flujo horizontal NO₃ con un 47,7 % y SST 82%. (Zurita & J., 2009).

- ✓ **Gases:** como N₂, O₂, CO₂, que se encuentran en las aguas en contacto con la atmósfera; y H₂S, NH₄, CH₄, producto de la descomposición de la materia orgánica. El O₂ es el gas más importante debido a que es consumido por la actividad biológica y química. La cantidad suficiente de O₂ disuelto en las aguas residuales evita la formación de malos olores y mantiene la vida de los microorganismos aerobios. Por su parte, el H₂S se manifiesta principalmente por los olores desagradables, es un indicativo de la evolución y estado del agua residual; mientras que el CH₄, producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, puede acumularse con riesgo de explosiones por su poder combustible. Tanto el N₂ como el P se usan para medir la cantidad de nutrientes presentes y el grado de descomposición en el agua residual, las formas oxidadas se pueden tomar como una medida del grado de oxidación. Cuando estos nutrientes se descargan en los cuerpos de agua pueden desencadenar la eutrofización del mismo. El N₂ se evalúa como nitrógeno total, orgánico, amoniacal, nitrito y nitratos, mientras que el P solo se mide en orgánico e inorgánico. Los cloruros hablan de la posibilidad de reusar el agua residual en el ámbito agrícola. Los sulfatos se evalúan en el agua residual ya que pueden provocar malos olores e impactan en el tratamiento del lodo residual.
- ✓ **Compuestos Orgánicos Volátiles COV:** son compuestos de reciente estudio y la principal importancia de su remoción dentro de las plantas de tratamiento es debido a las afectaciones que provocan en la salud humana.

2.1.4.2 Parámetros Físicos.

Los principales parámetros físicos de caracterización de las aguas residuales son: temperatura, sólidos, olor, turbiedad y color.

- ✓ *Temperatura:* las aguas residuales pueden presentar variación en la temperatura debido a la incorporación de aguas calientes desde residencias e

industrias (agua de sistemas de refrigeración, plantas termoeléctricas y nucleares). La importancia de la variación de la temperatura está relacionada con la influencia que ésta tiene en la velocidad de reacciones químicas, el desarrollo y equilibrio de la vida acuática, la actividad de microorganismos y la solubilidad de gases y sales.

- ✓ *Sólidos*: las aguas residuales están cargadas de sólidos: materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta; de origen orgánico e inorgánico. Estos sólidos provienen del material arrastrado por el agua durante su uso, y pueden ser: residuos de cocina y del baño, sales minerales, arenas y arcillas (erosión del suelo), lodos (plantas de tratamiento) y otros sólidos de diferentes tamaños. Los sólidos inorgánicos confieren turbidez al agua y causan problemas en los equipos cuando se reutiliza el agua; mientras que los sólidos totales producen cambios importantes en la densidad del agua. Por otra parte, las sustancias en forma coloidal y disuelta, se asocian a consumo de oxígeno, toxicidad para las especies y transmisión de enfermedades. Al respecto, Hernández (1992) señala que los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales originan reducción de la capacidad de reacción de las aguas receptoras junto con la degradación estética; mientras que los sólidos sedimentables se acumulan en el fondo de éstas y dan lugar a demanda de oxígeno, generando condiciones anaerobias en el fondo y degradación general del hábitat.
- ✓ *Olor*: los olores en las aguas residuales se originan de la liberación de gases cuando se descompone la parte orgánica. Los principales compuestos olorosos de las aguas residuales son: amoníaco, cloro, sulfuros, mercaptanos y aminas. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, la importancia del olor radica principalmente en el grado que se produce, así como los efectos tóxicos que pueden producir las

sustancias responsables de éste. Generalmente la percepción de un olor de aguas residuales ocasiona pérdida del apetito, disminución en el consumo de agua, respiración agitada, náuseas o vómito; también podría deteriorar las relaciones interpersonales y socioeconómicas (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2002).

- ✓ *Turbidez* (Turbiedad): la turbidez de las aguas residuales está relacionada con la materia coloidal y en suspensión presente en estas, tales como: arcilla, limo, material orgánico finamente dividido e inorgánico, plancton y microorganismos. Su importancia está asociada con la anti-esteticidad, movilidad y filtrabilidad de los contaminantes y eficiencia de la desinfección, esencialmente en el abastecimiento de aguas (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). Es importante señalar, que, en aguas residuales con altos valores de turbidez, motivados por el contenido de diferentes sustancias en suspensiones, no se habla de turbidez sino de sólidos para indicar el contenido de sustancias orgánicas y/o minerales presentes en el medio (Marín, 2003).
- ✓ *Color*: la coloración anormal de las aguas residuales se debe a la presencia de sustancias disueltas o coloidales (color real) o en suspensión (color aparente), tanto orgánicas como inorgánicas. En este sentido, Hernández (1990) refiere que las aguas residuales domésticas presentan tonalidades variables que van desde gris, cuando se ha originado, hasta convertirse en oscuro, e incluso negro, a medida que transcurre el tiempo. En el caso de las aguas residuales industriales el color dependerá de las sustancias y materiales presentes. Las industrias más destacadas en alterar considerablemente el color de las aguas son: la papelera, de curtido, del hierro, los mataderos y las lecherías. Por consiguiente, la presencia de color en las aguas tiene una consecuencia grave de contaminación estética, además de dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambio de oxígeno (Seoáñez, 1999).

2.1.4.3 Parámetros Biológicos.

Las aguas residuales urbanas contienen gran número organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica. Los organismos pueden ser vegetales o animales (Seoáñez, 1999).

Los principales microorganismos presentes en las aguas residuales son bacterias, hongos, algas, protozoos, gusanos, rotíferos, crustáceos y virus. Su número y desarrollo depende de parámetros como pH, temperatura, materia orgánica incorporada, existencia de oxígeno, disponibilidad de alimento y nutrientes, entre otros. Estos microorganismos componen poblaciones mixtas, complejas e interrelacionadas, donde cada microorganismo presente en un sistema tiene su propia curva de crecimiento.

Por su parte, las bacterias son un grupo muy importante, ya que constituyen el sector de microorganismos encargado de oxidar la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Desde al punto de vista sanitario, los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales, generalmente provenientes de desechos humanos, causan enfermedades como fiebre, disentería, diarrea y cólera.

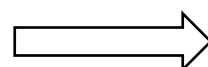
Los principales parámetros que definen a las aguas residuales se encuentran resumidos en la tabla 2.

Tabla 2

Resumen de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

Características Físicas	Características Químicas	Características Biológicas
Temperatura	Contenido orgánico: DBO, DQO, Carbohidratos, proteínas, fenoles, aceites,	Animales, Plantas Protistas: Eubacterias y Arque bacterias, Virus

Tabla 2 CONTINÚA



Color	Grasas, COV y agentes tensoactivos.
Olor	Contenido inorgánico: pH,
Turbidez	Alcalinidad, cloruros, P, N ₂ , y metales pesados.
Solidos(totales, suspendidos, volátiles)	Gases: H ₂ S, CH ₄ , O ₂ disueltos,

2.2 HUMEDALES

Según el convenio RAMSAR, define los humedales como una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan.

2.2.1 Tipos de Humedales.

2.2.1.1 Humedales naturales.

Ramírez J, 2009, define tres parámetros básicos que identifican un humedal: el suelo, la hidrología y la vegetación.

El suelo se compone primordialmente de sedimentos anaeróbicos y dependen del nivel de inundación y saturación del agua.

La hidrología es esencial y varía en tiempo y en espacio, dependiendo de la precipitación, proximidad a las costas y las mareas.

La vegetación es quizás el indicador más utilizado, especialmente en el Caribe, para caracterizar un humedal

Según (Cubillos, 2014), los humedales naturales se clasifican en:

- ✓ *Acuático marino*: dominado mayormente por las praderas de hierbas submarinas, representadas especialmente por *Thalassia testudium*, *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*.
- ✓ *Planicies costeras de agua salada*: las cuales se destacan por ser salitrales asociados al mangle, dominada por *Batis marítima* (verdolaga) y *Sesuvium portulacastrum* (verdolaga roja y yerba de vidrio)
- ✓ *Ciénagas de agua salada*: área dominada por plantas herbáceas y leñosas inundadas ocasionalmente por aguas salada. Especies representativas *Acrostichum aureum*, *Adanaefolium* (marunga) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco).
- ✓ *Pantanos de agua salada o manglares*: humedal de gran importancia que ocupa grandes extensiones de terreno. Se encuentran representados por *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Avicennia germinans* (mangle negro)
- ✓ *Acuático de agua dulce*: representada por desembocaduras de ríos, lagos y charcas con vegetación flotante e inundada. Algunos representantes muy conocidos son *Cyperus giganteus* (junco de ciénaga) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Nymphaea* (lirio de agua)
- ✓ *Ciénaga de agua dulce*: está inundada ocasionalmente por agua dulce. Dominada por plantas leñosas y herbáceas tales como *Eriochloa polystachia* (malojilla) *Hibiscus tiliaceus* (emajagua) y *Typha domingensis* (eneas)
- ✓ *Pantano de agua dulce*: cubierta mayormente por vegetación leñosa y representado por el bosque de *Pterocarpus* (palo de pollo), *Annona glabra* (corazón cimarrón) y *Bucida buceras* (ucar). Estos viven con las raíces ancladas al suelo inundado o saturado y los tallos, troncos y ramas emergen fuera

del agua. De los humedales mencionados hay dos que se han estudiado en detalle y son muy conocidos, las praderas de yerbas submarinas y los manglares. Sin embargo los siete son ecosistemas de gran importancia.

2.2.1.2 Humedales Artificiales.

El convenio Ramsar define a los humedales artificiales como zonas construidas por el hombre en las que se representan, de manera vigilada, los métodos físicos, químicos y biológicos de separación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales.

Este tipo de humedales, son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (U.S.EPA., 2000)

Este tipo de humedales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos como: (Schnoor, 1997)

- ✓ Requieren poca o ninguna energía para operar, especialmente si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación.
- ✓ Proporcionan un hábitat para la vida silvestre
- ✓ Estéticamente agradables a la vista.
- ✓ El sistema puede servir para efectuar un tratamiento secundario (descomposición de materia orgánica disuelta) o terciario (eliminación de elementos minerales eutrofizantes) por medio de los microorganismos adheridos al sistema radicular de las plantas.
- ✓ Favorece la reducción de sólidos en suspensión al quedar adsorbidos en las raíces
- ✓ Benefician el ataque microbiano a la materia orgánica de los sólidos.

- ✓ Es una tecnología sustentable.

Las tecnologías ecológicas como los humedales construidos han ganado interés ante esta condición, debido a las altas eficiencias de remoción que logran para contaminantes orgánicos e inorgánicos, las cuales se encuentran asociadas con procesos de sedimentación, filtración, asimilación de nutrientes, oxigenación y degradación por parte de microorganismos. Las aguas residuales de origen doméstico presentan en su composición principalmente materiales orgánicos que pueden ser removidos más fácilmente, pero que asimismo presentan contenidos de nitrógeno que requieren de procesos más complejos para su eliminación (Cubillos, 2014)

Los humedales construidos poseen una gran acogida, pues constituyen un enfoque alternativo a los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, en tanto que promueven la reducción o el uso nulo de fuentes de energía externas y aditivos químicos (Brix, 2003) (García, 2008) (Mena, 2008). Estos sistemas son ampliamente utilizados en Europa como sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales (Kadlec, 2008).

Los humedales artificiales se clasifican por el régimen del flujo del agua en humedal artificial de flujo superficial (HA FS) y humedal artificial de flujo subsuperficial (HA FSS). Los humedales artificiales siempre utilizan plantas macrófitas, que son plantas acuáticas que crecen en o cerca al agua. Los diferentes tipos de humedales artificiales pueden ser combinados entre sí (los llamados sistemas híbridos) con el fin de explotar las ventajas específicas de cada sistema. En la figura 3 se presenta la clasificación de los humedales artificiales

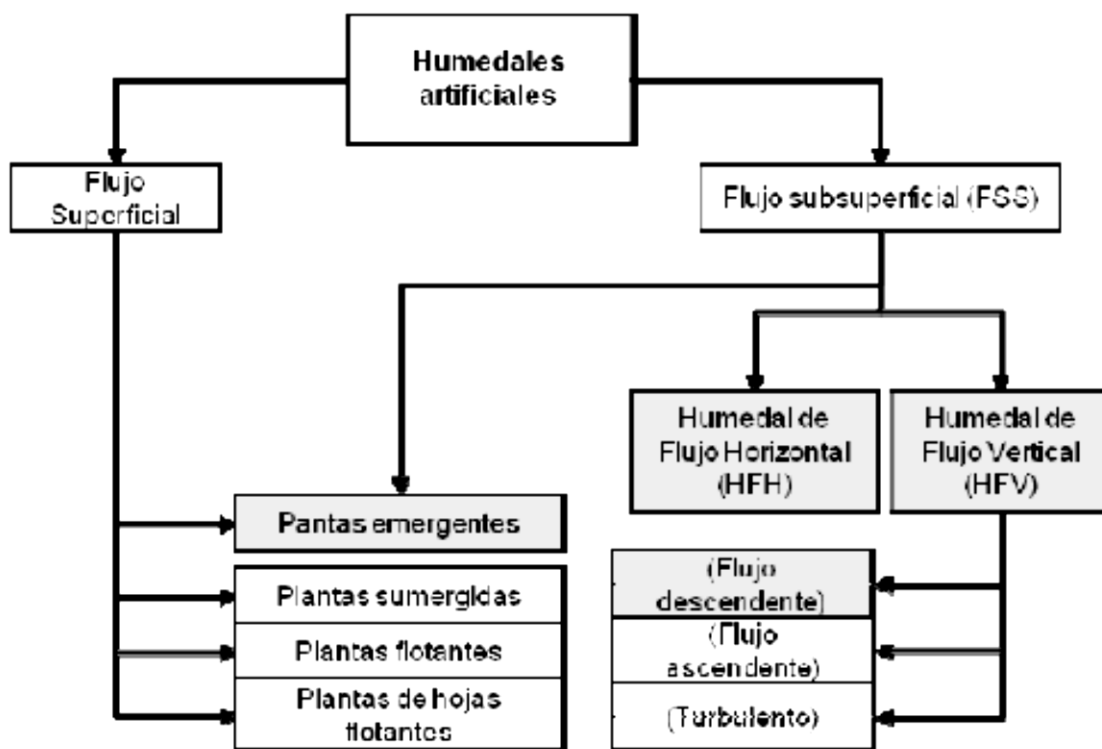


Figura 3. Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

Fuente: (Vymazala & KröpfelováJan Vymazala, 2009)

- ✓ *Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HA FS):* en este tipo de humedales el agua se encuentra exhibida directamente al ambiente y corre preferente a través de los tallos de las vegetales. Pueden considerarse estos humedales como una variedad de los lagunajes clásicos, con las diferencias de que se opera con menores profundidades de la lámina de agua (inferiores a 0.4 m), y de que las balsas se encuentran colonizadas por plantas acuáticas emergentes. Los HAFS suelen instalarse para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y que también se emplean para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

La alimentación a estos humedales se efectúa de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y las raíces de la vegetación

emergente implantada, tal como se evidencia en la figura 4. Tallos, raíces y hojas caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, mientras que las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de micro algas.

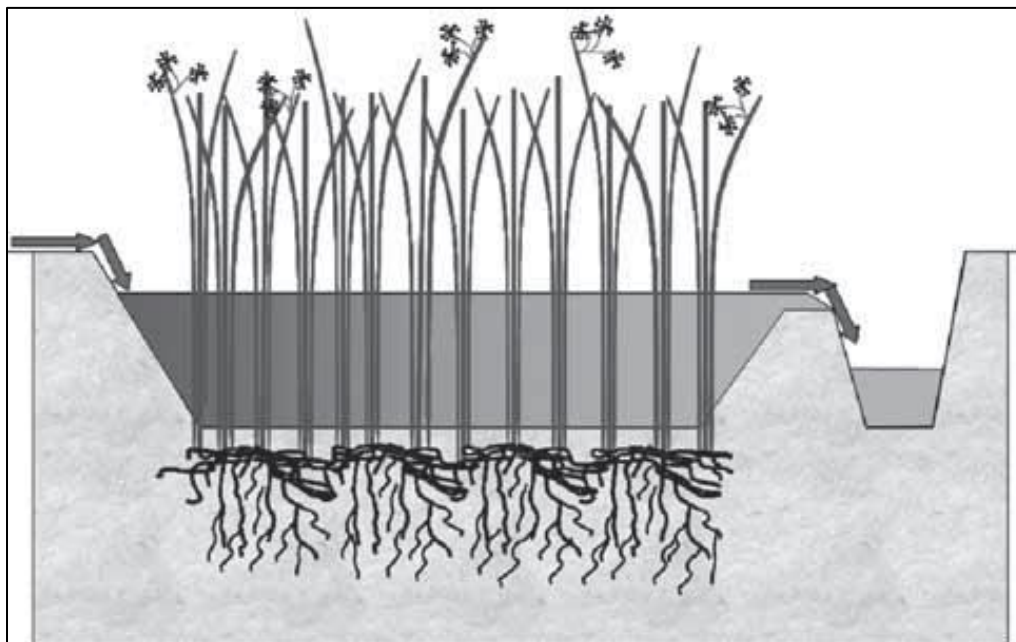


Figura 4. Vista esquemática de un humedal artificial de flujo superficial.

Fuente: (Alianza por el agua , 2008)

- ✓ *Humadales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HA FSS):* se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes, usando, grava y arena de distinta granulación como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho; mientras que el sobrante baja hasta ser recolectado en una tubería inferior y descargada posteriormente. A este tipo de HA FSS, se lo conoce como de flujo horizontal y se lo esquematiza en la figura 5.

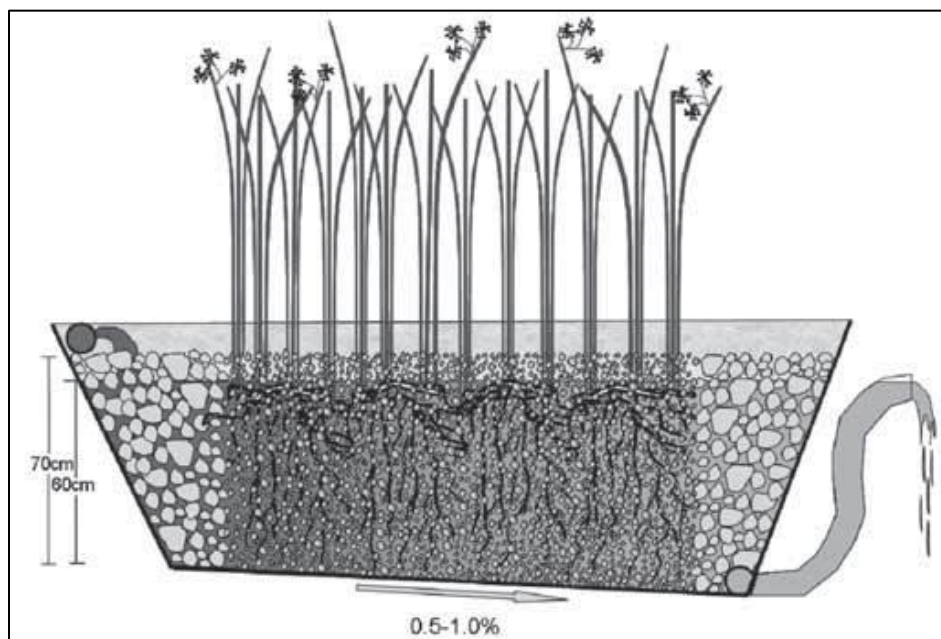


Figura 5. Vista esquemática de un humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal.

Fuente: (Alianza por el agua , 2008)

Cuando el medio no se encuentra permanentemente saturado, ya que el agua se aplica normalmente en intervalos regulares y percola a través del medio, se lo conoce como humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, tal como se esquematiza en la figura 6.

Los HA FSS consisten en una tecnología natural de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales. La depuración se consigue gracias a varios fenómenos físicos, químicos y biológicos, tanto en el relleno sólido (sustratos), como en la parte del rizoma de las plantas. Estas plantas macrófitas acuáticas emergentes realizan varias funciones entre las que se destacan el transporte de gases desde la atmósfera hacia los sustratos. (Lucas, 2005). La mayoría de los procesos de tratamiento son aeróbicos o anaeróbicos.

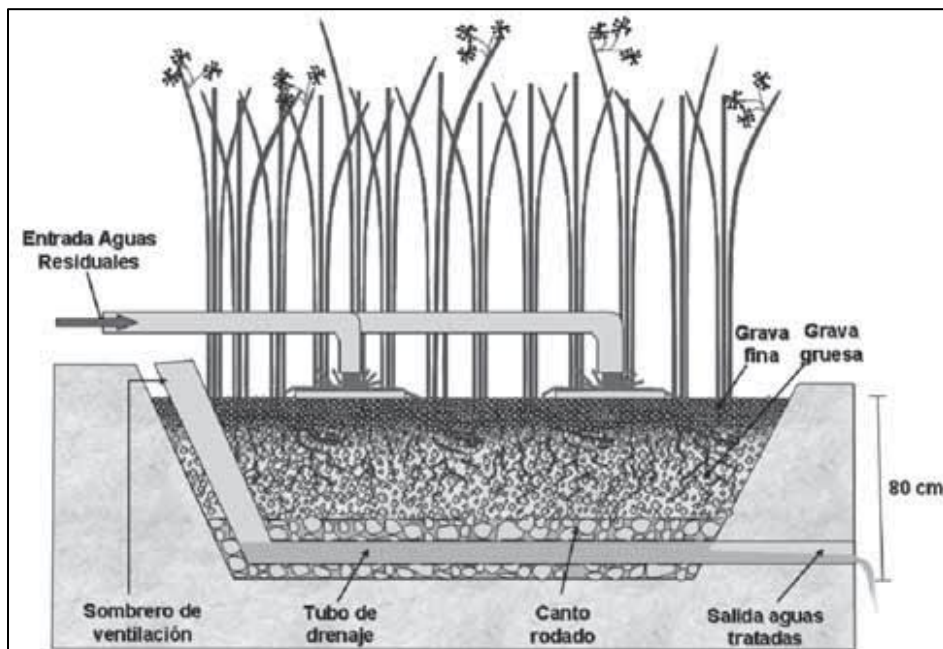


Figura 6. Vista esquemática de un humedal sub-superficial de flujo vertical

Fuente: (Alianza por el agua , 2008)

2.2.2 Componentes de un humedal artificial

Los principales componentes de un humedal artificial a más del desarrollo de microorganismos e invertebrados acuáticos endémicos son:

- ✓ *Agua contaminada*: normalmente, vertidas como influentes en el humedal artificial. En este caso particular, aguas servidas resultantes del uso doméstico en el campamento del personal. El componente hídrico de un humedal artificial, es quizás el más importante porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del mismo. Por ello es importante, modificar la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la parte inferior de la cubeta para evitar infiltraciones hacia el subsuelo. Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema interactúa 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).

- ✓ *Sustratos, sedimentos y restos de vegetación*: la importancia de los sustratos (suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos) en los humedales artificiales son que soportan muchos organismos vivos, la permeabilidad del sustrato está directamente asociada al paso de agua a través del humedal, sufre muchas transformaciones químicas y biológicas, facilita la adherencia de los contaminantes. La cantidad de materia orgánica del humedal aumenta con rapidez debido a la gran acumulación de restos de vegetación. Las características físicas y químicas del suelo y otros sustratos se alteran cuando se inundan.
- ✓ *Vegetación*: la mayoría de las plantas acuáticas tienen rizomas (estructuras de reproducción vegetativa de las que salen nuevos brotes y que contienen abundante cantidad de hidratos de carbono como sustancia de reserva), estructuras que agilitan la población de los humedales. Su mayor beneficio al sistema es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz, con ello se llega a zonas profundas que naturalmente serían inalcanzables por medio de la sola difusión. Su contribución con el tratamiento de agua residual y escorrentía es que estabilizan el sustrato 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 traza para incorporarlos en los tejidos vegetales, transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.

El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato. El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos. Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

2.3 TEORÍA DEL MUESTREO

El monitoreo de la calidad del agua es importante para controlar y detectar puntos de contaminación en los ríos, pues tiene como meta conocer los datos recopilados del campo y ver cómo impacta al medio las diferentes actividades desarrolladas por el hombre; así en un futuro poder controlar la contaminación del agua con la única finalidad de mejorar la calidad de agua y de vida en las áreas de influencia. (Hahn Schlam, 2006)

2.3.1 Muestreo de Aguas Residuales.

El muestreo es el proceso de seleccionar una muestra representativa, es decir, que en lo posible capture todas las características del agua para su análisis.

El proceso de recolección debe considerar algunos aspectos, a fin de que pueda cumplirse el objetivo propuesto. La composición de la muestra puede variar con el tiempo una vez recogida a causa de cambios químicos, reacción con el aire o interacción de la muestra con el recipiente. Las técnicas de muestreo y de análisis usadas para la caracterización de las aguas residuales van desde determinaciones químicas cuantitativas y precisas, hasta determinaciones biológicas y físicas cualitativas.

Los principales objetivos del método de muestreo es asegurar que las muestras sean representativas del material que se analiza y que las muestras analizadas en el laboratorio sean homogéneas. El término *muestra representativa* significa que el contenido total de la muestra sea el mismo que el del material del cual se ha tomado, mientras que el término *homogénea* se refiere a que la muestra presente las mismas características en cada punto del cual se ha extraído la alícuota.

Por otra parte, el recipiente no debe aportar interferencias ni adsorber o absorber ninguno de los analitos ya que esto alteraría la medición. Los resultados analíticos obtenidos en el laboratorio nunca pueden ser más confiables que la muestra sobre la cual se realizan las pruebas, se puede afirmar con seguridad que la mayoría de los datos erróneos implican problemas atribuibles a un inadecuado muestreo que a técnicas inadecuadas de laboratorio.

La recolección de muestras de agua puede parecer una tarea relativamente simple. Sin embargo, se requiere algo más que la simple inmersión de un recipiente en el agua para obtener muestras representativas de la misma y preservar su integridad hasta que sean analizadas en laboratorio.

Las muestras pueden ser de dos tipos: puntuales o compuestas

2.3.1.1 Puntuales.

Son aquellas que se toman aisladamente en un momento instantáneo en el tiempo y analizadas por separado. Son esencialmente una guía del aspecto y composición del universo que se está evaluando en el instante de la extracción.

La representatividad de una muestra puntual es de valor limitado, pero puede ser usado en el seguimiento de las características rápidamente cambiantes de un desagüe.

La serie de muestras puntuales son útiles para apreciar las variaciones de parámetros tales como: pH, gases disueltos, etc. Las muestras puntuales analizadas in situ son esenciales para las determinaciones de oxígeno disuelto, temperatura, demanda de cloro y cloro residual. Asimismo, las concentraciones debidas a descargas intermitentes de tanques o piletas, pueden determinarse utilizando muestras puntuales.

2.3.1.2 Compuestas.

Indican condiciones medias y dan resultados que son útiles para estimar las cantidades de materiales descargados a lo largo de un período prolongado, como, por ejemplo: 24 horas o por turno.

Si el caudal en donde se toma la muestra es constante, la muestra compuesta está formada por un número adecuado de porciones uniformes recogidas frecuentemente a intervalos regulares. En cambio, si el caudal varía, como ocurre generalmente en los desagües industriales, es aconsejable tomar una muestra compensada. En este caso el volumen de cada porción será proporcional al caudal del efluente que circula en el momento de la extracción.

El muestreo compuesto reduce a un mínimo el trabajo analítico. Las muestras compuestas de procesos industriales continuos son formadas normalmente sobre un turno de trabajo de 8 horas o bien sobre 24 horas. Ocasionalmente pueden ser necesarias muestras compuestas sobre períodos menores de 4, 2 y hasta de 1 hora para estudios especiales.

2.3.2 Caracterización de efluentes líquidos.

Las características del plan de monitoreo de los efluentes de aguas residuales dependerán del objetivo perseguido. El monitoreo de los efluentes puede ser necesario para:

- ✓ Verificar el cumplimiento de las normas de descargas, en cuyo caso la extracción de muestras la hace la autoridad de control.
- ✓ Demostrar el cumplimiento de las normas de descargas de aguas residuales, cuyo caso la extracción de muestras la hace el personal del mismo establecimiento.
- ✓ Identificar los puntos más susceptibles a contaminaciones peligrosas en caso de existir descargas con residuos industriales, agrícolas o metales pesados.

2.3.3 Lugar de muestreo.

La selección de un lugar adecuado para la extracción de muestras es de gran importancia para que estas sean representativas del lugar que se está estudiando, en general, el punto elegido debe ser un lugar donde se produzca turbulencia o tenga caída, de este modo se consiguen condiciones de mezcla que impiden la separación de sólidos, obteniéndose muestras representativas.

2.3.4 Duración del Programa de muestreo.

El objetivo del programa de muestreo y la complejidad del proceso que genera fijará la duración del mismo, es probable que no se obtengan resultados confiables con un programa de menos de una semana de duración. En estos casos el mínimo de duración

recomendado para un programa de extracción de muestras es de 2 semanas, o debe extenderse a programas aún mayores.

2.3.5 Preservación de las muestras.

Lo óptimo es un análisis inmediato, si esto no es factible las muestras deben conservarse en frío (hielo) en la oscuridad, esto inhibe los problemas asociados a la multiplicación y la muerte de los organismos por un tiempo (no más de 30 horas).

Para evitar las alteraciones en la concentración de los parámetros a medir que ocasionan los procesos biológicos, físicos y químicos en las muestras durante el lapso de su colecta y real medición, en campo o en especial si esto se efectúa en laboratorio luego de un viaje (que puede durar horas a días). Deben respetarse las medidas para la preservación de las muestras y mediante adiciones de reactivos químicos, conservación en frío, y/o evitando el efecto de la luz solar, se asegura la validez de las determinaciones a efectuar.

2.3.6 Adición de reactivos químicos.

Las muestras suelen acidificarse para medir luego algunos compuestos: Ejemplo: metales disueltos, herbicidas tipo fenoxiácidos; debe procurarse siempre el empleo de reactivos de máxima pureza, para no introducir una contaminación adicional en la muestra sometida luego a detección en el laboratorio.

2.3.7 Empleo de frío extremo, congelación y/o mantenimiento en congelador.

Esta técnica no es siempre aconsejable, porque causa algunos cambios fisicoquímicos, por ejemplo la formación de precipitados y pérdida de gases disueltos que pueden afectar la real composición de la muestra. También los compuestos sólidos cambian a causa del proceso congelación/deshielo y el retorno a las condiciones de equilibrio requiere una homogeneización rápida y especial, antes de efectuar las determinaciones analíticas en el laboratorio.

2.3.8 Conservación utilizando frío moderado (4° C).

Esta es la técnica más utilizada y en general mantiene completamente la integridad de los compuestos químicos (poluentes /nutrientes /biota) aunque algunos elementos pueden llegar a precipitar. Se complementa regularmente este método mediante la adición de reactivos químicos, acorde al parámetro a medir.

2.3.9 Volumen de la Muestra

El volumen a coleccionar lo definen los requerimientos del laboratorio en base a la cantidad de parámetros a analizar. Cuando se trabaja para detectar compuestos orgánicos deben utilizarse filtros de fibra de vidrio, lo que queda allí retenido es la fracción particulada y el resto constituye la concentración del compuesto disuelto.

2.3.10 Pruebas in situ

Siempre que se toma una muestra del agua, se debe anotar los resultados de los parámetros físicos en el lugar de muestreo siempre que sea posible. Los análisis in situ, generalmente, incluyen toma de pH, Temperatura y conductividad

Para la mayoría de los análisis, será necesario enviar la muestra a un laboratorio

2.3.11 Métodos de Análisis.

Los métodos cuantitativos de análisis son gravimétricos, volumétricos o físico-químicos. Estos últimos miden propiedades diferentes a la masa o al volumen. Los métodos instrumentales de análisis como turbidimetría, colorimetría, potenciometría, polarografía, espectrometría de absorción, flúorimetría, espectroscopia y radiación nuclear son análisis físico-químicos representativos. En lo que concierne a los diferentes análisis pueden encontrarse mayores detalles en Standard Methods (1995), la mayoría cual es la referencia aceptada para la realización de análisis tanto de agua potable como de agua residual. Independientemente del método de análisis usado, se debe especificar el límite de detección del mismo. (CRITES & TCHOBANOGLOUS, 2000).

CAPITULO III

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

3.1 INTRODUCCIÓN

La Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, posee una planta de tratamientos de aguas residuales domésticas la cual, como se especificó en el capítulo I, da servicio a aproximadamente 3000 personas/día.

La planta está compuesta por los siguientes subsistemas:

- a) Tanque de ecualización: en el cual se receipta las aguas residuales que provienen de varios afluentes que poseen caudal y carga orgánica variable
- b) Piscina de graba y fitorremediación: esta parte del tratamiento es encargada de una primera remoción de materia orgánica, en varios pasos
- c) Piscina de graba y fitorremediación (2): es el tratamiento terciario. El diámetro promedio de la graba, es menor que el primero y remueve otro porcentaje de DBO y DQO.

El proceso de Fito remediación se lo realiza a través de la *Echinochloa polystachya* o Pasto alemán. Este proceso de purificación de las aguas residuales, en general, se consigue mediante una amplia variedad de propiedades físicas, químicas y (micro) biológicas, como la sedimentación, filtración, precipitación, adsorción, absorción de la planta, descomposición microbiana y transformaciones de nitrógeno (Rousseau & Peter A, 2004).

La materia orgánica se descompone en los humedales construidos con flujo sub-superficial horizontal (HF CWS) por procesos tanto aeróbico como anaerobios microbianos, así como por sedimentación y la filtración de partículas de materia orgánica (Vymazala & KröpfelováJan Vymazala, 2009).

La planta de tratamiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, posee humedales artificiales Sub-superficial de flujo horizontal, los humedales artificiales son sistemas de tratamiento eficaz que pueden ser muy útiles ya que se aplican simples tecnologías e implican bajos costos de operación, la mayoría de veces los humedales pueden ser construidos con materiales locales que reducen sus costos. Además, que los sistemas de tratamiento son buenos en la eliminación de patógenos, nutrientes, metales tóxicos y contaminantes orgánicos.

3.2 PLANIFICACIÓN DEL MUESTREO

El muestreo de la planta tiene como objetivo tomar muestras representativas de las diferentes etapas que se llevan a cabo en la planta de tratamiento para la posterior caracterización de esta, lo que permitió obtener una correcta evaluación del rendimiento de la planta en estudio.

La calidad del agua se determina comúnmente mediante análisis químicos, físicos y biológicos selectos de muestras de agua. Entre los factores a considerar al seleccionar un método de muestreo cabe mencionar:

La exactitud del muestreo necesaria para representar satisfactoriamente componentes de la calidad del agua de interés, para que pueda lograrse el muestreo específico o los objetivos de datos informativos.

Para la planta de tratamiento de la Universidad de la Fuerzas Armadas se aplicó el siguiente plan de muestreo:

- ✓ Selección de la cantidad y localización de los puntos de muestreo
- ✓ Selección de las fechas de muestreo
- ✓ Selección de la cantidad y tipo de muestras a tomarse
- ✓ Parámetros para medir y condiciones de muestreo

- ✓ Recolección de las muestras
- ✓ Ensayos de laboratorio.

3.2.1 SELECCIÓN CANTIDAD Y LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Se escogió tres puntos de muestreo, mismos que están ubicados, después de las piscinas de tratamiento y antes de la descarga al Rio Santa Clara, como se evidencia en la Figura 7.

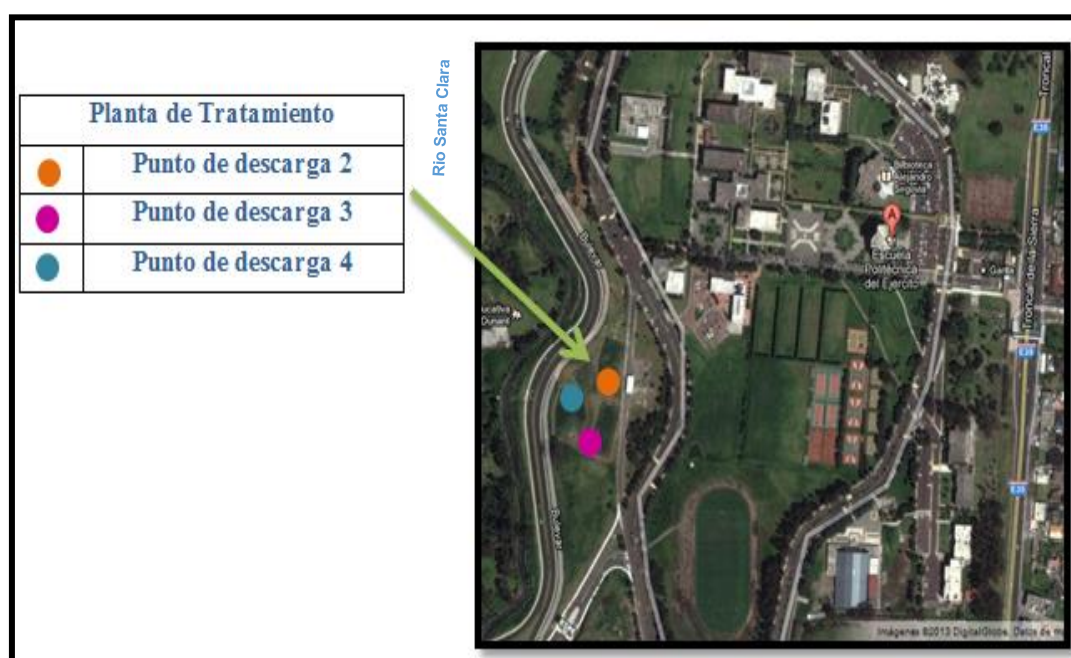


Figura 7. Ubicación de los puntos de muestreo

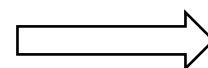
Las coordenadas de los puntos de muestreo se describen en la Tabla 3

Tabla 3

Coordenadas de los Puntos de Descarga

PUNTO DE MUESTREO	SUR	OESTE
-------------------	-----	-------

Tabla 3 CONTINÚA



PISCINA 2	0°18'57.6"	78°26'49.4"
PISCINA 3	0°18'58.4"	78°26'50.4"
PISCINA 4	0°18'59.6"	78°26'49.8"

3.2.2 SELECCIÓN DE LAS FECHAS DE MUESTREO

Se realizaron tres diferentes muestreos de cada una de las piscinas en diferentes fechas que fueron seleccionadas en función de los días pico de ocupación.

Las horas de muestreo en todos los casos fueron entre LAS 10H00 y 12H00 de la mañana, pues son las horas promedio de mayor uso.

3.2.3 SELECCIÓN DE LA CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS

Las muestras tomadas fueron simples y recolectadas en los colectores que unen el sistema. Después de su obtención, las muestras se conservaron en baño de hielo durante su transporte y después preservadas en refrigeración para su posterior uso, el cual ocurría 24 horas después.

Se tomó una muestra de 300 ml en botellas Winckler en cada punto, en las fechas y horas señaladas en el ítem 3.2.2.

3.2.4 PARÁMETROS PARA MEDIR Y CONDICIONES DE MUESTREO

Para poder determinar la eficiencia de remoción que posee la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerza Armadas-ESPE, se determinó que se la realizará mediante la caracterización de los parámetros físicos, químicos y biológicos utilizando la metodología establecida en el Standard Methods y el manual HACH.

Los parámetros medidos in situ fueron pH, conductividad eléctrica (CE) y turbidez, mientras que en laboratorio se midió sulfatos, nitratos, fosfatos, DBO₅, DQO, y Coliformes Totales.

Se tomó las muestras con la ayuda de un balde plástico, y se observó la cadena de custodia apropiada para cada parámetro que se caracterizó en laboratorio.

3.2.5 CADENA DE CUSTODIA

La cadena de custodia de las muestras de agua residual recolectada es un procedimiento controlado mediante el cual se garantiza que el agua de análisis llegue al laboratorio sin alteraciones, sustituciones, contaminaciones o destrucciones y que por ello garantice la calidad del análisis de laboratorio.

En la Tabla 4 se observa un resumen de la cadena de custodia recomendada por Jorge Duran, 2011, para algunos parámetros de análisis.

3.2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

Una vez recolectadas las muestras, los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

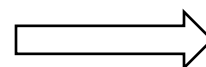
En la Tabla 5 se indica el método utilizado para el análisis de cada parámetro solicitado.

Tabla 4

Cadena de custodia para varios parámetros

PARAMETRO	ENVASE	CONSERVANTE	VOL MIN (mL)	PLAZO MAXIMO DE ANALISIS (días)
Acidez	P ó V (B)	4°C	100	14
Alcalinidad	P ó V	4°C	200	14
Amonio	P ó V	SO ₄ H ₂ - pH2- 4°C	1000	28
Arsénico	P	NO ₃ H- pH2	100	180
Boro	P (A) ó V (A)	No requiere	100	180

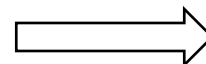
Tabla 4 CONTINÚA



Calcio	P (A) ó V (A)	NO ₃ H- pH2	250	180
Cloro residual	V	No exponer a luz solar 4°C	500	2 h
Cloruro	P ó V	No requiere	100	28
Coliformes	P(E) ó V (E)	4°C	100	6h
Color	P ó V	4°C	500	2
Conductividad	P ó V	4°C	250	28
Cromo (VI)	P (A) ó V (A)	4°C	300	2
Cromo total	P (A) ó V (A)	4°C	300	180
DBO	P ó V	4°C	1000	2
DQO	P ó V	SO ₄ H ₂ - pH2- 4°C	200	28
Detergentes	P (A) ó V(A)	4°C	1000	2
Dureza	P ó V	NO ₃ H- pH2	100	180
Fosforo Total	V	SO ₄ H ₂ - pH1,5 - 4°C	200	7
Grasas y aceites	V	ClH- pH2- 4°C	1000	28
Hierro	P (A) ó V(A)	NO ₃ H- pH2	250	180
Nitratos	P ó V	SO ₄ H ₂ - pH1,5 - 4°C	200	2
Nitritos	P ó V	4°C	250	2
Nitrógeno Kjeldahl	P ó V	SO ₄ H ₂ - pH1,5 - 4°C	800	28
Oxígeno disuelto	P ó V		300	inmediato
pH	P ó V	4°C	100	2h
Potasio	P	NO ₃ H- pH2	100	180
Sodio	P (A) ó V(A)	NO ₃ H- pH2	100	180
Sulfato	P ó V	4°C	500	28
Sulfuro	P ó V	(AcO) ₂ Zn - 4°C	250	28
Turbidez	P ó V	4°C	100	7

Fuente: (Clescerl, 1999)

Tabla 4 CONTINÚA



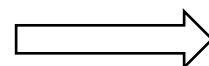
P=Plástico/Polietileno; V=Vidrio; V (B)= Vidrio Borosilicato

Tabla 5

Métodos de análisis en el laboratorio Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

Parámetro	Expresado como	U	Método (Standard Methods)	Nombre Método
Potencial de Hidrógeno	pH	N/A	4500 – H ⁺	Ph Value B. Electrometric Method
Conductividad Eléctrica	CE	μS/cm	2510	Conductivity B. Laboratory Method
Turbidez	-----	UTN	2130	Turbidity B. Nephelometric Method
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	4500 – NO ₃ ⁻	Nitrogen (Nitrate) E. Cadmium Reduction Method
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	4500 - SO ₄ ²⁻	Sulfate Tabla 5 Continuación ...
Fosfatos	P	mg/l	4500 – P	Phosphorus E. Ascorbic Acid Method
Coliformes Totales	-----	Org/100 ml	9222	Total Coliform B. Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure

Tabla 5 CONTINÚA



Demanda Química de Oxígeno	C.O.D. (DQO)	mg/l	5220	Chemical Oxygen Demand (COD) D. Closed Reflux, Colorometric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	B.O.D. (DBO ₅)	mg/l	5210	Biochemical Oxygen Demand (BOD) B. 5-Day BOD Test

Fuente: (Clescerl, 1999)

3.3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6 y sus promedios en la Tabla 7.

Tabla 6*Datos procesados de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos*

Punto de muestreo	Muestreo	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Turbidez (UTN)	Coliformes totales (Org/100ml)
	1	18.0	7.70	1570	2.8	0.87	11	57.00	77	53.50	770000
2	2	17.0	7.73	1580	3.3	1.28	13	49.00	97	50.10	400000
	3	22.0	7.41	1640	3.7	1.06	9	48.17	73	32.00	480000
	1	20.0	7.53	1527	1.5	0.74	9	45.00	57	51.80	320000
3	2	18.0	7.74	1542	1.7	0.87	12	35.33	41	41.10	360000
	3	20.9	7.15	1576	1.8	0.93	6	26.00	51	25.20	930000
	1	19.0	7.48	1367	2.9	0.20	3	24.33	35	8.97	60000
4	2	16.5	7.51	1415	3.2	0.49	4	21.00	23	9.82	30000
	3	20.3	7.02	1530	1.6	0.54	5	21.33	45	9.00	970000

Se realizó un promedio de los valores encontrados en las tres campañas de muestreo, desglosado por punto de muestreo, como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7

Punto de muestreo	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	Nitratos (mg/ L)	Fosfatos (mg/ L)	Sulfatos (mg/L)	DBO ₅ (mg/ L)	DQO (mg/ L)	Turbidez (UTN)	Coliformes totales (Org/100ml)
2	19.00	7.61	1596	3.26	1.07	11	51.39	82.33	45.20	550000
3	19.63	7.40	1548	1.66	0.84	9	35.44	49.66	39.36	540000
4	18.60	7.33	1437	2.56	0.41	4	22.22	34.33	9.26	350000

Promedio de los resultados encontrados en las campañas de muestreo

3.4 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales viene dada por la ecuación:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema o de uno de sus componentes [%]

S: Carga contaminante de salida.

S₀: Carga contaminante de entrada

Varios son los componentes que perturban la eficiencia de remoción, entre otros:

- ✓ El tiempo de residencia hidráulico (TRH).
- ✓ Área superficial, porosidad, altura del lecho.
- ✓ Temperatura, pH y nutrientes.

Para el cálculo de la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, se la realizará en función de la remoción de la materia orgánica: DBO₅, DQO, sulfatos, nitratos y fosfatos obtenidas en el punto 4 comparados con los datos de composición promedio de aguas residuales sugeridos por Metcalf & Eddy, 1995 en su texto Ingeniería de Aguas Residuales (Eddy, 1995); y, que constan en la Tabla 8.

Tabla 8

Cálculo de la eficiencia de remoción comparado con la composición promedio de aguas residuales

Parámetro	Composición promedio de aguas residuales	Composición en el punto 4	Porcentaje de Remoción (%)
Sulfatos (mg/L)	99.11	4.00	95.96
Nitratos (mg/ L)	3.27	2.56	21.71
Fosfatos (mg/ L)	19.92	0.41	97.94
Coliformes Totales (Org/100m L)	487000000	350000	99.93
DQO (mg/ L)	500	34.33	93.13
DBO ₅ (mg/ L)	200	22.22	88,89

3.5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El punto en el que se centra el interés de este estudio es el punto 4, pues de él saldrá el efluente para ser vertido al cuerpo de agua.

Como se observa en la Tabla 6, existe, en general, una alta eficiencia de remoción en la mayoría de parámetros analizados, cumpliendo así con lo enmarcado por la teoría, es decir, remociones promedio de más el 80% para DBO y DQO; 50,6 % de Org-N; 72% para el NH_4^+ y 50% para el P (fósforo), exceptuando para los nitratos.

Ahora bien, el objetivo de toda planta de tratamiento, es que el efluente que va a ser vertido al cuerpo de agua al menos cumpla con la normativa local vigente, en este caso,

con el Acuerdo Ministerial 061, que entró en vigencia desde el 04 de mayo de 2015, de acuerdo al libro VI del TULSMA.

El límite de descargas hacia un cuerpo de agua dulce, se encuentran en la tabla 12 Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, TULSMA según el Acuerdo Ministerial 061, misma que será transcrita a este trabajo, únicamente para los parámetros necesitados, así como los valores promedio obtenidos en el punto 4 (punto de descarga al Río Santa Clara), tal como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9

Extracto de los límites máximos permitidos para la descarga en cuerpo de agua dulce y valores obtenidos en el punto de descarga al Río Santa Clara.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE	PUNTO 4
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 MI	10000	350000
Potencial Hidrógeno	pH		6-9	7,33
DBO ₅	DBO ₅	mg/L	100	22,22
DQO	DQO	mg/L	250	34,33
Fosforo Total	P	mg/L	10	0,41
Nitrógeno Total	N	mg/L	15	2,56
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	1000	4,00

Fuente: (Ministerio Del Ambiente, 2015)

Respecto a los Coliformes, si bien es cierto la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, es del 99,93%, el límite legal requerido está muy por debajo del valor alcanzado, es decir, 350000 NMP frente a 10000 NMP que es el máximo permitido. Los humedales, en general, remueven materia orgánica, pero no están concebidos para la remoción de coliformes fecales.

El valor promedio que se determinó de pH fue de 7,33 en el punto de descarga al Río Santa Clara, el cual está dentro de los límites máximos permisibles en el Anexo 1 del libro VI del TULSMA según Acuerdo Ministerial 061 (Ministerio Del Ambiente, 2015). Este valor de pH se encuentra en un rango entre neutra y ligeramente alcalina. La importancia de analizar éste parámetro radica en los efectos que puede producir éste sobre los organismos acuáticos ya sean estos vegetales o animales, así como de las alteraciones que pueden causar en fuentes de agua natural.

El contenido de sulfatos en el efluente de descarga al cuerpo de agua dulce, fue otro parámetro analizado, cuyo valor promedio fue 4 mg/L, el cual se está dentro del límite máximo permisible para descargas hacia un cuerpo de agua dulce (1000 mg/L), presentando la planta de tratamiento una alta eficiencia de remoción en este parámetro (95,96%). Los sulfatos son de los principales constituyentes disueltos presentes en la lluvia.

El valor de nitratos en el punto 4 es de 2,57 mg/L y si bien en el límite máximo permitido de descarga en un cuerpo de agua dulce no especifica nitratos, si no que detalla nitratos + nitritos, se tomó éste como referencia, que es 25,7% del valor máximo permitido. El porcentaje de Eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, es del 21,71 %, que es bajo, sin embargo cumple con lo dispuesto en el Acuerdo Ministerial 061. Se evidenció un comportamiento inusual en la concentración de nitratos a lo largo de la planta de tratamiento, existiendo el problema en la piscina cuatro, que presumiblemente se deba a que en esta piscina se suministra mayor cantidad de fertilizantes con respecto al resto y el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) presente en la piscina solo fija el 50% de nitrógeno el restante queda en el suelo y por precipitación e infiltración el nitrógeno llega a la parte baja de la piscina, creando aumento de concentración de nitrógenos en la descarga.

La remoción de materia orgánica es fundamental para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes de la planta. La DBO₅ a la salida de la planta de tratamiento cumple con lo impuesto por la normativa local vigente, tal como se evidencia en la Tabla 8. La eficiencia de remoción de DBO₅ presentada por la planta de tratamiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, fue de 88,89%, valor que se enmarca en las eficiencias teóricas aceptadas.

En la Figura 8, se muestra la disminución de la concentración de la DBO₅ a medida que avanza en el tratamiento.

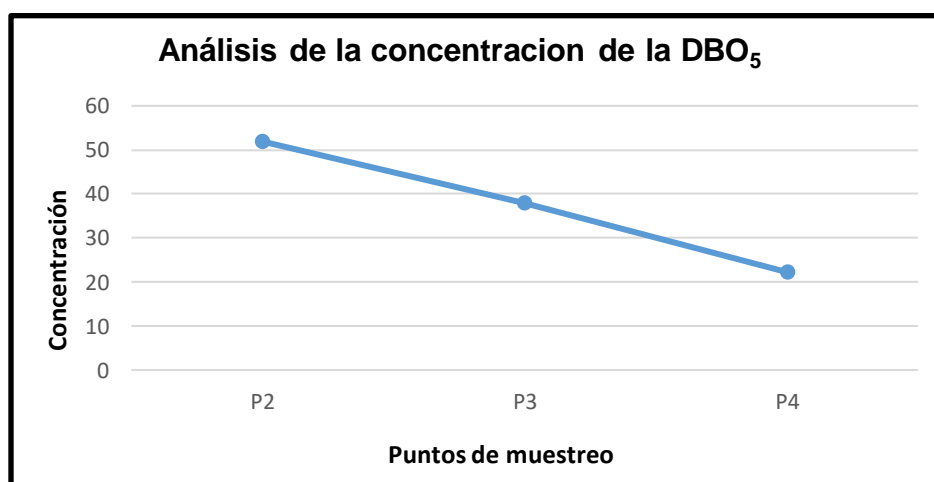


Figura 8. Análisis de la concentración de la DBO₅

En el análisis de la DQO se trabajó con el valor promedio de los muestreos en el punto 4, obteniéndose un valor de 34,33 mg/L, mismo que está en los límites permisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce según el Acuerdo Ministerial 061. El porcentaje de remoción para DQO, en el que se consideró como punto inicial de descarga para aguas residuales una concentración de 500 mg/L, fue de 93,13 % que se enmarca en las remociones teóricas que podrían alcanzar los humedales.

Un indicador en el que se estima cualitativamente la biodegradabilidad del efluente es la relación entre DQO/DBO, la cual debe ser menor a 2,5. Para la planta de tratamiento de interés de este trabajo la relación fue de 1,55, lo que significa que para su tratamiento posterior se podría utilizar sistemas biológicos como fangos activos o lechos bacterianos para su tratamiento (Eddy, 1995).

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ Se evaluó la eficiencia de remoción que actualmente posee la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, basado en el uso de humedales, cuyos valores para remoción de DBO está en 88,89%, DQO en 93,13%, Sulfatos 95,96%, Fosfatos 97,94%, los cuales se consideran dentro de lo esperado para este tipo de sistemas de tratamiento.
- ✓ Se monitorearon los parámetros físicos, químicos y biológicos de la planta de tratamiento, concluyéndose que todos los parámetros, excepto el valor de coliformes totales, se encuentran bajo los límites máximos permitidos por la normativa local vigente, es decir, el Acuerdo Ministerial 061, por lo que es totalmente viable su vertido al Río Santa Clara.
- ✓ Al calcular el índice de biodegradabilidad para las aguas de la planta de tratamiento de la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE la relación obtenida es de 1,55, lo que indica que para su tratamiento posterior se podría utilizar sistemas biológicos como fangos activos o lechos bacterianos para su tratamiento.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda implementar un programa de monitoreo de las aguas de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de tener evidencia del comportamiento de la planta así como de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos de descarga del efluente, tal como lo manda el Acuerdo Ministerial 061.

- ✓ Se sugiere buscar procesos alternativos para una mejor distribución de agua entre piscinas ya que los ductos son propensos a taponamientos en épocas de lluvia, así también realizar más análisis del efluente de entrada para obtener promedios de concentración de contaminantes más ajustados que permita discernir mejor los resultados obtenidos.
- ✓ Se recomienda realizar un estudio exhaustivo en cuanto al parámetro de coliformes totales debido a que la planta de tratamiento no cumple con el límite máximo permisible de la legislación vigente.
- ✓ Se sugiere, implementar un plan de mantenimiento preventivo continuo y correctivo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rousseau, D., & Peter A, V. (2004). Removal of organics in constructed wetlands with horizontal. *Water Researcher*, 1(38), 1484–1485.
- Vymazala, J., & KröpfelováJan Vymazala, L. (2009). Removal of organics in constructed wetlands with horizontal. *Science of the total environmental*, 1(407), 3911-3912.
- Alianza por el agua . (2008). *Manual de Depuración de aguas residuales urbanas*. Centroamérica: Ideasmares.
- Brix, H. A. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 17-24.
- Clescerl, L. (1999). *Standad Methods for the Examination for water an waste water*. Washington D.C.: American Public Health Association.
- CRITES, R., & TCHOBANOGLOUS, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogota: McGraw Hill.
- Cubillos, J. G. (2014). Efecto de la carga hidráulica y medio filtrante sobre la eficiencia de remoción de contaminantes en humedales construidos sembrados con *Guadua angustifolia kunth*. En A. R. Paredes, *Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua* (pág. 182). Mexico: IMTA.
- Eddy, M. &. (1995). *Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. España: McGraw-Hill.
- García, J. &. (2008). *Depuración con humedales construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Catalunya: Universidad Politècnica de Catalunya.
- Hahn Schlam, F. G. (2006). Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos de iones. *Agrociencia* 40, 277-287.
- Kadlec, R. &. (2008). *Treatment wetlands*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

- Lucas, A. (2005). *Evaluación de Diferentes Especies de Plantas Acuáticas en Depuración de*. Ciudad Real: Departamento De Ingeniería.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control del agua potable*. Madrid--España: Díaz de Santos.
- Mena, J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: ventajas de los sistemas híbridos. *Alquimia Soluciones Ambientales*.
- Ministerio Del Ambiente. (2015). *Libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Ramalho, R. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Quebec, Canada: Editorial Reverté S.A.
- Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2002). *El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis*. Baja California: Plaza y Valdés.
- Schnoor, J. (1997). Phytoremediation. *Technology Evaluation Report GWRTAC*, 37.
- Seoánez, C. (1999). *Aguas residuales urbanas*. Madrid: Mundi-Prensa.
- U.S.EPA. (Septiembre de 2000). *EPA*. Obtenido de www.epa.gov/espanol
- Zurita, F., & J., D. A. (2009). *Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands*. Toronto: ELSEVIER.