



**Universidad Técnica de Manabí**

**Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas**

**Carrera de Ingeniería Química**

Trabajo de titulación

Previo al título de Ingeniero Químico

Tema:

Diseño de un pantano seco artificial para el tratamiento de las aguas  
residuales del cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí

Autores:

Vélez Macías Vanessa Aracely

Pilligua Giler Gabriel Ronal

Tutor:

Ing. Carlos Moreira

**Portoviejo-Ecuador**

**2016**

## CLAUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Nosotros, Vélez Macías Vanessa Aracely y Pilligua Giler Gabriel Ronal autores de la tesis titulada *“Diseño de un pantano seco artificial para el tratamiento de las aguas residuales del cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí”*, mediante el presente documento de constancia de que la obra es de nuestra exclusiva autoría y producción, que la hemos elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Ingeniero Químico en la Universidad Técnica de Manabí.

1. Cedo a la Universidad Técnica de Manabí, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/as de la obra antes referida, asumiremos toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entregamos a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

Fecha, Jueves 10 de Marzo del 2016.....



Vélez Macías Vanessa Aracely



Pilligua Giler Gabriel Ronal

---

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe la presente señor Ing. Carlos Moreira Mendoza Docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Química; en mi calidad de Tutor del trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN PANTANO SECO ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN ROCAFUERTE DE LA PROVINCIA DE MANABÍ”** desarrollada por los profesionistas: Señor Pilligua Giler Gabriel Ronal con C.I 1312358987 y la Srta. Vélez Macías Vanessa Aracely con C.I. 1308465291; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes

Ing. Carlos Antonio Moreira Mendoza  
TUTOR

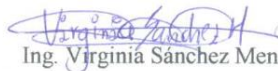
---

## INFORME DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad de investigación y que lleva por tema: **“DISEÑO DE UN PANTANO SECO ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN ROCAFUERTE DE LA PROVINCIA DE MANABÍ”** desarrollado por el señor Pilligua Giler Gabriel Ronal con Cédula No. 1312358987 y la Srta. Vélez Macías Vanessa Aracely con cédula No. 1308465291, previo a la obtención del título de **INGENIERO QUÍMICO**, bajo la tutoría y control del señor Ing. Carlos Moreira Mendoza, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requisitos del nuevo **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**, aprobada por el H. Consejo Universitario, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, sus autores:

- Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10 % de similitud con otros documentos existentes en el repositorio
- Han aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento no vinculante para los fines legales pertinentes.



Ing. Virginia Sánchez Mendoza  
REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

## **DEDICATORIA**

Este presente trabajo se lo dedico a todas las personas importantes que estuvieron siempre presentes en mi etapa de estudio.

Primero a mi Dios que sin en el nada de esto se hubiera hecho realidad. A el Lcdo. Moisés Vélez y la Lcda. Marnie Macías que siempre fueron mi apoyo en cada obstáculo que se me presentaba, que siempre estuvieron hay para darme un consejo cuando más lo necesite, los que siempre me ayudaron a ponerme de pie cuando ya no podía más, sin duda alguna por ellos estoy donde estoy, y para ellos es este logro alcanzado. Sé que mi angelito esté a donde esté, estará orgullosa de mí y estará feliz de ver que su hija ya va hacer una profesional como él siempre lo soñó, gracias Papá por tus palabras sabias y por tus buenos ejemplos, este trabajo va dirigido hasta el cielo.

A mi familia, mi esposo Cristian Muñoz que siempre estuvo a mi lado brindándome una palabra de aliento, que nunca me dejó desvanecerme y siempre estuvo a mi lado siendo mi soporte para seguir adelante, a mi hija Fabianita mi motor de todos los días, la razón por la cual nunca debo rendirme y siempre mirar hacia delante, te amo hija para ella es este logro para que se sienta orgullosa de mi.

A mis hermanos Kassandra y Carlitos y a mi sobrino Nelson que también son parte de este triunfo que me ayudaron de alguna manera para que culminaran mis estudios, para ellos también va dedicado este trabajo.

**Vélez Vanessa**

## **DEDICATORIA**

Primero que nada agradecerle a Dios por permitirme estar aquí, cumpliendo con uno de mis objetivos planteados en mi vida.

Este logro alcanzado va dedicado a toda mi familia, especialmente a mis padres; mi madre Cielo María Giler Párraga y mi padre el Sr. Ramón Vicente Pilligua Calderón quienes fueron los que incondicionalmente, siempre me brindaron y me brindan su amor, su cariño, su apoyo, su sacrificio de cada día por los cuales se esforzaron mucho en darme uno de los mejores obsequios que se le pueden brindar a un hijo, que es el poder educarlos y formarlos para que tengan un buen futuro, como persona y como profesional. A mis hermanos quienes siempre han estado conmigo dándome sus consejos, sus atenciones.

A todos ellos, muchas gracias por ser parte de esta meta alcanzada.

**Pilligua Gabriel**

## **AGRADECIMIENTO**

“Cuando la gratitud es tan absoluta las palabras sobran”.

Primero queremos agradecerle al Todopoderoso por habernos guiado en todo nuestro camino de estudio el cual hoy hemos concluido con éxito, segundo a nuestros padres que sin la ayuda de ellos esta meta no se hubiera cumplido, las gracias infinitas a ellos que estuvieron siempre a nuestro lado dándonos todo su apoyo, sus consejos, su tiempo; no nos queda más que decirles gracias mil gracias por todo.

A nuestros hermanos por ser también parte de este éxito que hemos cumplido, ya que de una u otra manera nos brindaron su apoyo siempre.

Al Ing. Carlos Moreira por brindarnos sus amplios conocimientos que nos sirvieron en el desarrollo como estudiantes y futuros profesionales, y sentirnos afortunados de contar con él como nuestro tutor de tesis que ha sido de suma importancia para la terminación de la misma.

A nuestros compañeros y amigos con los que compartimos muchos momentos importantes en el transcurso como estudiantes de ingeniería química.

A todos ellos solo nos queda darles las GRACIAS por ser parte de este logro alcanzado por nosotros.

**Los Autores**

## RESUMEN

El cantón Rocafuerte no cuenta con un óptimo tratamiento de las aguas residuales, por ello presenta un alto nivel de contaminación, de coliformes y algunos compuestos tóxicos como metales pesados, sólidos suspendidos, materia orgánica, etc. Lo que representa un peligro eminente para los habitantes que se abastecen de estas aguas.

El presente trabajo de titulación se realizó con la intención de plantear un tratamiento adecuado que sea rápido, efectivo y económico, que pueda eliminar o disminuir los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Un tratamiento mediante un pantano seco artificial es una de las mejores opciones para tratar las aguas residuales, ya que en lugares en donde los han utilizado se ha comprobado mediante investigación, que los humedales artificiales dan resultados positivos.

Para el diseño del pantano seco artificial, se realizó varios cálculos para determinar sus dimensiones (largo, ancho, profundidad), sus flujos de entrada y salida, el tiempo de retención de las aguas residuales en el humedal artificial, tipo de planta y microorganismos, el sustrato para el humedal, las condiciones y su ubicación.

**Palabras claves:** Aguas residuales, Humedal Artificial, Compuesto tóxicos, eminentes, microorganismos.



## SUMMARY

Rocafuerte canton does not have an optimal wastewater treatment, hence has a high level of contamination, coliform and some toxic substances such as heavy metals, suspended solids, organic material, etc. Which represents an imminent danger to the people who are supplied by these waters.

This degree work was done with the intention to propose a suitable treatment that is fast, effective and economic, eliminate or reduce contaminants in the water.

An artificial wetland is one of the best options for wastewater treatment, which has been proven through research, that places where have used artificial wetlands got positive results.

For the design of artificial dry wetland, several calculations are performed to determine its dimensions (length, width, depth), its input and output flows, the retention time of the wastewater in the constructed wetland, plant type and microorganisms, the substrate for the wetland, conditions and location.

**Keywords:** Waste water, Artificial Wetland, toxic compound, eminent microorganisms.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.3.1 Delimitación del problema .....	4
1.3.2 Formulación del problema.....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
CAPITULO II.....	6
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Agua Residual .....	6
2.2 Contaminación del agua.....	6
2.3 Agua residual municipal .....	7
2.3.1 Características del agua residual municipal .....	7
2.4 Tratamiento de las aguas residuales.....	12
2.4.1 Sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales.....	12
2.5 Humedales artificiales .....	15
2.5.1 Función de los humedales .....	17
2.5.2 Clasificación de los humedales artificiales .....	18
2.6 Diseño y construcción de un humedal de flujo subsuperficial.....	22
2.6.1 Las características ecológicas.....	22
2.6.2 Características de diseño. ....	23
2.7 Agua Residual de descarga pos-tratamiento. ....	27
CAPÍTULO III.....	31
3.1 Hipótesis.....	31

3.2	Variables y su Operacionalización.....	31
3.2.1	Variable independiente.....	31
3.2.2	Variable dependiente.....	31
3.2.3	Operacionalización de las variables.....	32
3.3	Comprobación cualitativa de la hipótesis.....	34
CAPITULO IV.....		35
4.1	Diseño metodológico.....	35
4.1.1	Tipo de diseño.....	35
4.1.2	De campo.....	35
4.2	Métodos.....	35
4.3	Instrumentos.....	36
4.4.	Recursos.....	36
4.4.1.	Humanos.....	36
4.4.2.	Materiales.....	36
4.4.3.	Equipos Tecnológicos.....	36
4.4.4.	Económicos.....	36
CAPITULO V.....		37
5.1	Generalidades del área de estudio.....	37
5.2	Localización de la investigación.....	37
5.2.1.	Localización geográfica.....	37
5.3	Características geográficas.....	39
5.3.1	Clima.....	39
5.3.2	Características topográficas.....	40
5.3.3	Riesgos naturales.....	40
5.4	Agua residual del cantón Rocafuerte.....	40
CAPITULO VI.....		44
Presentación de cálculos y los tipos de planta.....		44
6.1	Presentación cálculos.....	44
6.1.1	Población de diseño.....	44

6.1.2	Caudal de diseño .....	45
6.1.3	Cálculo del Área de superficie del humedal.....	46
6.1.4	Cálculo del tiempo de retención.....	47
6.2	Tipos de plantas a utilizar para el diseño del humedal artificial .....	48
CAPITULO VII .....		50
7	Diseño del pantano para el cantón Rocafuerte.....	50
7.1	Ubicación .....	50
7.2	Dimensionamiento .....	50
7.3	Material impermeable .....	51
7.4	Sustrato.....	51
7.5	Vegetal .....	51
7.6	Diseño de entrada y salida.....	51
7.7	Accesorios .....	52
7.8	Presupuesto de la construcción del humedal artificial .....	52
7.9	Diseño del Pantano Seco Artificial .....	53
Recomendaciones .....		56
PARTE REFERENCIAL.....		57
Presupuesto .....		57
Cronograma .....		58
Bibliografía .....		59
ANEXOS .....		61
GLOSARIO .....		69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y posibles actividades generadoras .....	8
Tabla 2: Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual. ..	9
Tabla 3: Composición de las aguas residuales domesticas típicas sin tratar. .	11
Tabla 4: Ventajas e inconvenientes del uso del lagunaje y de los humedales artificiales.....	14
Tabla 5: Materiales utilizados para el diseño y construcción de humedales horizontales.....	27
<b>Tabla 6: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....</b>	<b>28</b>
Tabla 7: Localización geográfica.....	37
Tabla 8. Parámetros del agua residual tratada del cantón Rocafuerte .....	41
Tabla 9. Defectos del sistema de lagunaje de Rocafuerte.....	42
Tabla 10. Comparación de parámetros permisibles para el agua tratada.....	43
Tabla 11. Ventajas y Desventajas de las plantas más utilizadas para humedales artificiales .....	48
Tabla 12. Resultados de los cálculos de diseño para el Humedal Artificial ...	50
Tabla 13. Descripción de rubros, unidades, cantidades y precios .....	52

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Imagen de un humedal artificial. ....	17
Ilustración 2: Modelo generalizado del reciclaje del fósforo en humedales... 18	
Ilustración 3: Cuadro de clasificación de humedales artificiales.....	19
Ilustración 4: Humedal artificial de flujo superficial.....	20
Ilustración 5: Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	21
Ilustración 6: Localización de la Provincia de Manabí en el Ecuador.....	38
Ilustración 7: Localización del cantón Rocafuerte en Manabí. ....	38
Ilustración 8: Localización de la planta de aguas residuales en Rocafuerte... 39	
Ilustración 9. Vista Superior del Diseño del Pantano Seco .....	53
Ilustración 10. Sección Transversal del Diseño del Pantano Seco .....	54

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales tanto industriales como municipales que se generan en un pueblo, requieren ser tratadas, de tal manera, que se puedan remover o inhibir microorganismos patógenos o agentes nocivos presentes en el agua, los cuales pueden generar serios problemas en la salud de los habitantes, además de producir alteraciones en el medio ambiente, que de una u otra manera representan un problema socio-económico.

Los tratamientos aplicados al agua residual de una localidad, deben estar sujetos a regulaciones ambientales tanto nacionales como internacionales, teniendo como primordial el cuidado de la salud pública y la protección del medio ambiente.

Muchas entidades y empresas optan por tratar las aguas residuales mediante humedales artificiales o pantanos secos debido a su bajo costo en implementación y operación.

Con la implementación de humedales artificiales se puede alcanzar rendimientos muy elevados debido a su poder de depuración bacteriana. En el cantón Rocafuerte sus aguas residuales cuentan con un alto nivel de coliformes, lo que demuestra que el tratamiento actual que se les da a dichas aguas no es tan eficiente.

El presente trabajo de titulación está basado en los cálculos para diseñar un pantano seco artificial para darle un mejor tratamiento a las aguas residuales del cantón Rocafuerte.

# CAPÍTULO I

## 1.1 Antecedentes

Rocafuerte es un cantón ubicado a 24 Km al Noroeste de Portoviejo, capital de la provincia de Manabí. Actualmente tiene una población de 34000 habitantes aproximadamente, la cual gran parte se dedica a la agricultura y a la gastronomía, y un cierto sector a la artesanía. Rocafuerte tiene un clima relativamente fresco con una temperatura media anual de 25° C.

El sistema de alcantarillado del cantón Rocafuerte, junto con las lagunas de oxidación, fueron creados hace aproximadamente 10 años, en el gobierno cantonal del sr. Dimas Pacifico Zambrano, con el fin de transportar y tratar las aguas residuales generadas en el cantón.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Rocafuerte cuenta con los siguientes componentes:

- Redes colectoras y pozo de revisión limpieza
- Cárcamos de bombeo (dos pequeñas y una mayor)
- Sistema de impulsión y transferencia
- Sistema de lagunas (anaerobia, facultativa y de pulimento)

El área comprendida por las lagunas de oxidación es equivalente a 10 hectáreas, con un volumen total promedio 80000 m<sup>3</sup> de almacenamiento y un caudal promedio de 1500 m<sup>3</sup>/día a la llegada de las lagunas.

El último estudio realizado en el 2015, sobre el impacto ambiental que genera el sistema de tratamiento de las aguas residuales del cantón expresan algunos inconvenientes en diferentes áreas del proceso, específicamente en las áreas de bombeo, conexiones a la red de alcantarillado por parte de la ciudadanía, y principalmente en las descargas de las aguas tratadas en las lagunas.



## **1.2 Justificación**

Las nuevas disposiciones, las leyes y reglamentos ambientales, exigen a las autoridades competentes, garantizar a los ciudadanos el derecho a un ambiente sano, libre de contaminación, gracias a esto; hoy en día la mayor parte de agentes contaminantes de todo tipo es tratado. Sin embargo; hay que recalcar que no todos los procesos de tratamientos son óptimos debido a muchos factores. Es este el caso del sistema de tratamiento de las aguas residuales del cantón Rocafuerte, ya que la planta municipal, según el último estudio de impacto ambiental realizado sobre el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, muestra algunas falencias en el proceso de depuración de las aguas residuales, siendo una de ellas la no eliminación de microorganismos patógenos (coliformes fecales y totales) y algunos metales, las cuales representan un riesgo potencial para aquellas comunidades que utilizan el agua descargada de las lagunas de oxidación para el riego del cultivo, por lo que se justifica el diseño de un pantano seco artificial para el tratamiento de las aguas residuales del cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Al igual que la mayor parte de las poblaciones, en el cantón Rocafuerte, el crecimiento demográfico e industrial ha tenido un aumento considerable en los últimos años, lo cual; a su vez, repercute en una serie de necesidades y requerimientos por parte de los pobladores. De entre los servicios básicos indispensables en la población, se encuentra el manejo de aguas residuales producidas en el cantón, las cuales, como es de conocimiento común, son una fuente eminente de contaminación, sobre todo en cuanto a parámetros de microorganismos y agentes patógenos que desembocan en problemas medioambientales, ya que la materia orgánica es absorbida por estas bacterias y es descompuesta aeróbicamente lo que reduce el nivel de oxígeno en el agua y con ello afecta a la flora y fauna que se encuentra presente, ocasionando con esto problemas en la salud de las personas que se abastecen de esta agua contrayendo infecciones, fiebre, tifoidea o hepatitis. En estas aguas también podemos encontrar parásitos y bacterias patógenas como Salmonella.

#### **1.3.1 Delimitación del problema**

##### **1.3.1.1 Espacial**

El presente estudio se realizará en el cantón Rocafuerte provincia de Manabí, específicamente en las lagunas de oxidación del sistema de tratamiento de aguas residuales, ubicada a más de 3 km hacia el norte desde el centro de la ciudad.

##### **1.3.1.2 Temporal**

Para la realización del presente estudio se utilizará información perteneciente a los años 2014 y 2015.

#### **1.3.2 Formulación del problema**

¿El diseño de un pantano seco artificial para el tratamiento del agua residual del cantón Rocafuerte, permitirá disminuir los agentes patógenos y compuestos tóxicos presentes en el agua?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un pantano seco artificial para el control de microorganismos patógenos (coliformes fecales) y sustancias tóxicas (metales pesados) que se encuentran presente en la descarga de las aguas residuales del cantón Rocafuerte, provincia de Manabí.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar cuáles son las falencias que presenta el actual sistema de lagunaje de Rocafuerte.
- Determinar la calidad del agua residual que es tratada en el cantón, mediante el Estudio de Impacto Ambiental del cantón Rocafuerte 2015.
- Determinar la ubicación, las dimensiones, el sustrato y el tipo de vegetal para construir un Humedal Artificial.
- Establecer el costo de inversión para la construcción del humedal artificial en el cantón.

## CAPITULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Agua Residual

Las aguas residuales son provenientes de uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original. Es decir, agua contaminada como efecto de su utilización en procesos económicos, de extracción y producción (Sánchez y Gándara 2011).

#### 2.2 Contaminación del agua

El Aire, el Suelo y el Agua se definen a grosso modo los ambientes en los cuales se produce la contaminación. Sin embargo, el Agua, por sus características de localidad, solvencia y necesidad, se define como el de mayor importancia. Localidad, puesto que las masas de agua no son muy móviles, perjudicando, al contaminarse, primero a los contaminadores, para después llevar su carga maligna a otras tierras, a veces lejanas. Solvencia, pues el agua es solvente universal por excelencia, acogiendo en su seno, disuelto o por dispersión, cuanto veneno produce la actividades humanas, y aun las resultantes de causas naturales. Necesidad, debido a que es un compuesto sin el cual la vida es impensable (Orozco Jaramillo 2005).

La contaminación del agua se produce por el vertimiento en ella de un elemento o compuesto, orgánico o inorgánico, que disuelto, disperso o suspendido, alcance una concentración que exceda la tolerancia para un uso determinado. Estos usos pueden ser para consumo humano, recreación, conservación de flora y fauna, uso industrial y agropecuario, etc. La fuente contaminante puede tener origen doméstico, industrial, agrícola y, a veces, origen natural. Las corrientes, lagos, bahías y demás masas de agua tienen capacidad de dilución y autodepuración de los contaminantes. Sin embargo, debido al aumento de la población, y de la actividad industrial y agropecuario, las cargas contaminantes vertidas a las fuentes cada vez exceden más estas capacidades, con el consecuente deterioro paulatino de este recurso, igualmente cada vez más necesitado para la actividad humana e industrial (Orozco Jaramillo 2005).

## **2.3 Agua residual municipal**

Los residuos que excrementan los humanos se conocen como aguas negras sanitarias. Las aguas negras domésticas, incluyen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos, al mezclarlas con residuos líquidos ya toman el nombre de aguas residuales municipales. Estas normalmente se recogen en un sistema de alcantarillado público y se envían a los centros de tratamientos para su eliminación sin peligro (Glynn y Heinke 1999).

La cantidad de aguas residuales municipales por lo común se determina a partir del uso de agua. Puesto que el agua es consumida por los humanos, y es necesaria para actividades como riego y el lavado de las calles; solo del 70 al 90 % del agua suministrada llega a las alcantarillas. No obstante suele suponerse que la pérdida de agua se compensa por infiltraciones o con aguas pluviales, que entran al sistema de alcantarillas sanitarias por conexiones ilícitas o por aberturas de los registros (Glynn y Heinke 1999)

### **2.3.1 Características del agua residual municipal**

Las características de las aguas residuales de una comunidad tienen grandes variaciones que dependen de factores como el consumo de agua potable, el tipo de sistema de alcantarillado, la existencia de sistemas individuales de disposición de excretas y la presencia de desechos industriales. Es importante reconocer la presencia de variaciones horarias, diarias, semanales y estacionales, tanto en lo relativo a concentraciones, a caudales. (Ramos Olmos, Sepúlveda Maquéz y Villalobos Moreto 2003).

**Tabla 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y posibles actividades generadoras**

<b>Característica</b>		<b>Actividad generadora del contaminante</b>
<b>Propiedades físicas:</b>		La mayoría de estas características físicas son de origen doméstico, agua residual industrial, descomposición de residuos industriales, degradación natural de la materia orgánica, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Color	Olor	
Sólidos	Temperatura	
Conductividad	Turbidez	
Material flotante	Densidad	
Aspecto		
<b>Contribuyentes químicos orgánicos:</b>		Estos contribuyentes químicos tienen su origen en descargas domésticas, comerciales, vertidos industriales, residuos agrícolas y degradación natural de la materia orgánica
Carbohidratos	Tenso-activos	
Fenoles	Proteínas	
Compuestos orgánicos volátiles		
Plaguicidas		
Grasas animales, aceites y grasas		

<b>Inorgánicos:</b>		Residuos domésticos, industriales, algunas infiltraciones de agua subterránea, vertidos industriales, residuos agrícolas.
Alcalinidad	Cloruros	
Metales pesados	Nitrógeno	
Ph	Fósforo	
Azufre		
<b>Gases:</b>		Descomposición de residuos domésticos y/o industriales.
Sulfuro de hidrogeno, metano, amoniaco		
<b>Contribuyentes biológicos:</b>		Efluentes de plantas de tratamiento, residuos domésticos, cursos de agua abiertos.
Animales, plantas, protistas, virus		

*Fuente: (Ramos Olmos, Sepúlveda Maquéz y Villalobos Moreto 2003)  
Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

**Tabla 2: Contaminantes importantes en el tratamiento del agua residual.**

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>RAZÓN DE LA IMPORTANCIA</b>
<b>Sólidos en suspensión</b>	Los sólidos en suspensión puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se convierten aguas residuales sin tratamiento al entorno.
<b>Materia orgánica biodegradable</b>	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales. La materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (Demanda

	Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica pueden agotar los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
<b>Patógenos</b>	Estos agentes pueden transmitir enfermedades infecciosas mediante los organismos patógenos que están presentes en el agua residual.
<b>Nutrientes</b>	El oxígeno, el fósforo, y el carbono, son nutrientes esenciales para el desarrollo de una vida acuática indeseada. Al verter al terreno en grandes cantidades, pueden producir la contaminación del agua subterránea.
<b>Materia orgánica refractaria</b>	Suele resistir las técnicas convencionales de tratamiento. Por ejemplo: agentes tenso-activos, fenoles y pesticidas agrícolas.
<b>Metales pesados</b>	Son, generalmente, agregados en el agua residual en el transcurso de algunos trabajos comerciales e industriales, lo que hace necesario retirarlos si se quiere volver a utilizar el agua residual.
<b>Sólidos orgánicos disueltos</b>	Los componentes inorgánicos (calcio, sodio y sulfatos) se agregan al agua de suministro, producto de la utilización de la misma, lo más probable es que tengan que retirarse si se pretende volver a utilizar el agua residual.

*Fuente: Metcalf y Eddy, Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, 3ª ed., McGraw-hill, México, 1998, citados en (Ramos Olmos, Sepúlveda Maquéz y Villalobos Moreto 2003)*

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

La concentración de los desechos domésticos dependerá del uso del agua. Un bajo consumo de agua originará un desecho más concentrado (Ramos Olmos, Sepúlveda Maquéz y Villalobos Moreto 2003).



**Tabla 3: Composición de las aguas residuales domesticas típicas sin tratar.**

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN (MG/L)		
	FUERTE	MEDIO	DÉBIL
Sólidos Totales	1200	720	350
Solidos Disueltos Totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	352	200	105
Sólidos Suspendidos Totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables*	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) a 20°C	400	220	110
Carbono Orgánico Total (COT)	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (Total Como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniac libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosforo (Total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Alcalinidad	200	100	50
Grasas y Aceites	150	100	50

*Fuente: Metcalf y Eddy, 1991 citados en (Ramos Olmos, Sepúlveda Maquéz y Villalobos Moreto 2003).*

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

## **2.4 Tratamiento de las aguas residuales**

El manejo apropiado de las aguas residuales en la sociedad moderna es una necesidad. Las consecuencias en la salud pública de un mal manejo de aguas residuales se manifiesta principalmente a través de enfermedades infecciosas transmitidas por patógenos. Cuando se inició el tratamiento de las aguas residuales, se consideraba que éste era necesario únicamente si la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua receptor era excedida y las condiciones del cuerpo de agua eran intolerables. (Campos Gómez 2003).

Por muchos años, un tratamiento básico o ningún tratamiento era requerido para comunidades pequeñas localizadas cerca del cuerpo de agua receptor. Pero la política ha cambiado en los últimos años; ahora se piensa que cualquier efluente de agua residual necesita de un mínimo tratamiento, sin importar la capacidad de autodepuración del río, quebrada o lago que reciba las aguas residuales. (Campos Gómez 2003).

Actualmente, la política de regulación consiste en admitir una máxima cantidad de contaminante, para permitirle al cuerpo receptor auto-purificarse y también permitir que se mantengan ciertos usos del agua como recreación. (Campos Gómez 2003).

El tratamiento de las aguas residuales, sean éstas de origen doméstico o industrial, se basan en los procesos de auto-purificación de los cuerpos de agua ya explicados. La tecnología induce esos procesos naturales, a través de mecanismos artificiales, para lograr disminuir el grado de contaminación de los cuerpos de agua. (Campos Gómez 2003).

### **2.4.1 Sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales**

Como alternativa a las técnicas convencionales de depuración se han desarrollado un serie de sistemas denominados ‘‘naturales’’, que aprovechan y potencian los procesos de purificación físicos, químicos y biológicos que ocurren de forma espontanea en la naturaleza. Estos sistemas presentan bajos costes de inversión y mantenimiento, y proporcionan un efluente de calidad muchas veces incluso

superior al obtenido con una depuradora convencional. Entre los sistemas naturales se encuentra el lagunaje y los humedales artificiales (Esteve Selma, Pascual del Riquelm y Martínez Gallur 2003).

Se denomina lagunaje a una tecnología de tratamiento de aguas residuales que emplea como soporte una laguna o conjunto de lagunas construidas por el hombre. En éstas, durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, la materia orgánica presente en el agua residual es estabilizada a través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos en los que intervienen numerosos microorganismos. Por esta razón, también se utiliza con frecuencia la denominación de ‘lagunas de estabilización’. Un sistema de lagunaje es una combinación de tres tipos diferentes de lagunas: anaerobias, facultativas y de maduración (Esteve Selma, Pascual del Riquelm y Martínez Gallur 2003).

Otra de las tecnologías de depuración denominadas ‘blandas’, por el bajo coste energético que supone su aplicación, es el uso de humedales artificiales. Los humedales son sistemas naturales cuyas características físicas, químicas y biológicas les dotan de un gran potencial depurador (Esteve Selma, Pascual del Riquelm y Martínez Gallur 2003).

**Tabla 4: Ventajas e inconvenientes del uso del lagunaje y de los humedales artificiales.**

VENTAJAS	LAGUNAJE	H. ARTIFICIALES
Costes reducidos de construcción, explotación y mantenimiento.		
No requiere empleo de energía externa	X	X
Puede tratar cargas hidráulicas y orgánicas muy variables	X	X
Reduce la concentración de patógenos a niveles muy bajos	X	X
Tolera grandes concentraciones de metales pesados	X	X
Los fangos generados deben ser evacuados cada 3 - 4 años	X	NO PRECISA
La biomasa es potencialmente aprovechable	X	X
Genera efluentes ricos en nutrientes aprovechables en el agua de riego	X	NO
Se integra en el medio, no genera impacto visual. Es recurso para diversas especies de flora y fauna.	X	X
DESVENTAJAS		
Gran abundancias de fitoplancton (incremento de sólidos) en las últimas etapas de tratamiento	X	NO
Posibilidad de malos olores ( en caso de sobrecarga)	X	NO
Posibilidad de presencia de mosquitos (en caso de sobrecarga)	X	NO
Requieren amplia superficie de terreno	X	X (Según el diseño)

*Fuente: (Esteve Selma, Pascual del Riquelm y Martínez Gallur 2003).*

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

## 2.5 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de fito-depuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente. (Delgadillo, y otros 2010).

Los porcentajes de reducción medios que pueden llegar a alcanzarse mediante el uso de humedales artificiales son (para una superficie de tratamiento neta de 1m<sup>2</sup>/habitante equivalente) del 90% para la retención de sólidos y reducción de la materia orgánica (DBO y DQO<sub>5</sub>) y entre el 60 – 70 % del nitrógeno y del fósforo presente en el agua residual según (Esteve Selma, Pascual del Riquelme y Martínez Gallur 2003). (Roldán Pérez y Ramírez Retrepo 2008).

Tipos de aguas residuales tratadas en los humedales artificiales según (Delgadillo, y otros 2010):

- Aguas domésticas y urbanas.
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje de extracciones mineras.
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo sub-superficial donde se deshidratan y mineralizan

Los humedales reemplazan a los tratamientos primarios y secundarios de las aguas residuales y eliminan contaminantes mediante procesos como la sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Stearnan et al, 2003).

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de

oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante (Delgadillo, y otros 2010).

En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual según (Reed en Kolb, 1998) y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos según (Hu en Kolb, 1998). (Delgadillo, y otros 2010).

La fito-depuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. El término macrófitas abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos (Fernández et al., 2004). Constituyen “fito-sistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas (Delgadillo, y otros 2010).

Los humedales naturales son sistemas de flujo que maximizan la sostenibilidad a largo plazo a expensas de la eficiencia. A su vez, los humedales construidos con el control preciso de hidrología que prevengan los eventos raros de flujo estacional son más predecibles y más eficientes (Delgadillo, y otros 2010).

Algunos experimentos han mostrado que de entradas de 220-2100 g/m<sup>2</sup>año, de sedimentos se retienen en humedal entre el 88 y el 98%. En contraste, en un humedal de ciprés alrededor de un río se estimó que, a partir de una entrada de 15000 g/m<sup>2</sup>año, se depositaron cerca de 500 g/m<sup>2</sup>año, de sedimentos, equivalente al 3 % de retención (Delgadillo, y otros 2010).

Ilustración 1: Imagen de un humedal artificial.



*Fuente: internet*

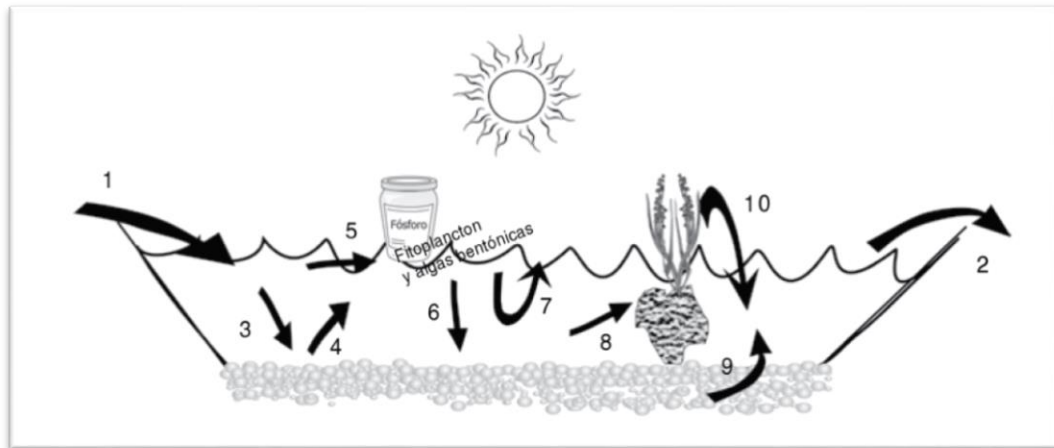
*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

### **2.5.1 Función de los humedales**

Intervienen en funciones físicas de regulación del ciclo hídrico superficial y de acuíferos, retención de sedimentos, control de erosión y estabilización microclimática. Intervienen también en funciones químicas como la regulación de ciclo de nutrientes (retención, filtración y liberación), y descomposición de biomasa terrestre, así como en retención de CO<sub>2</sub>. Finalmente, se llevan a cabo en ellos funciones sociales, pues son sistemas productores de recursos hidrológicos y de soporte para la acuicultura que conforman la base de las economías extractivas, el pastoreo y la agricultura en épocas de estiaje. Algunos humedales sustentan, además, procesos comerciales, como la industria del palmito, y la explotación forestal de cativales y guandales (Roldán Pérez y Ramírez Retrepo 2008).

También prestan servicios en actividades recreativas, de investigación científica y de educación según (Biosíntesis, 1998; bravo y Windevoxhel, 1997). (Roldán Pérez y Ramírez Retrepo 2008).

**Ilustración 2: Modelo generalizado del reciclaje del fósforo en humedales.**



*Fuente: tomada de Mitsch (1994), citado en (Roldán Pérez y Ramírez Retrepo 2008).  
Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

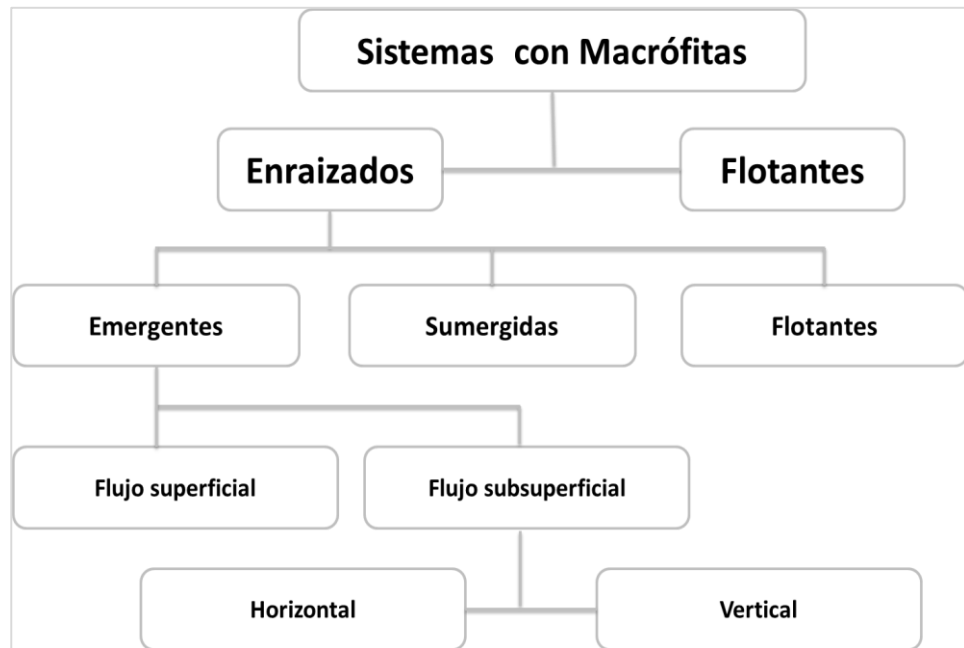
*Descripción de la ilustración:* 1, Entrada de las aguas superficiales, las aguas subterráneas y la precipitación pluvial; 2. Salida de aguas superficiales; 3. Sedimentación de materiales entrantes (fundamentalmente inorgánicos); 4. Re-suspensión y liberación de fósforo desde los sedimentos; 5. Incorporación de fósforo por algas planctónicas y bentónicas (inicialmente orgánica); 7. Reciclaje del fósforo para la columna de agua desde algas planctónicas y bentónicas; 8. Incorporación del perifiton y posible uso posterior por macrófitas); 9. Incorporación por macrófitas; 10. Producción de detritos por macrófitas y perifiton.

### **2.5.2 Clasificación de los humedales artificiales**

Los humedales artificiales se clasifican en: mácrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres (Delgadillo, y otros 2010).



**Ilustración 3: Cuadro de clasificación de humedales artificiales.**



*Fuente: (Delgadillo, y otros 2010)*

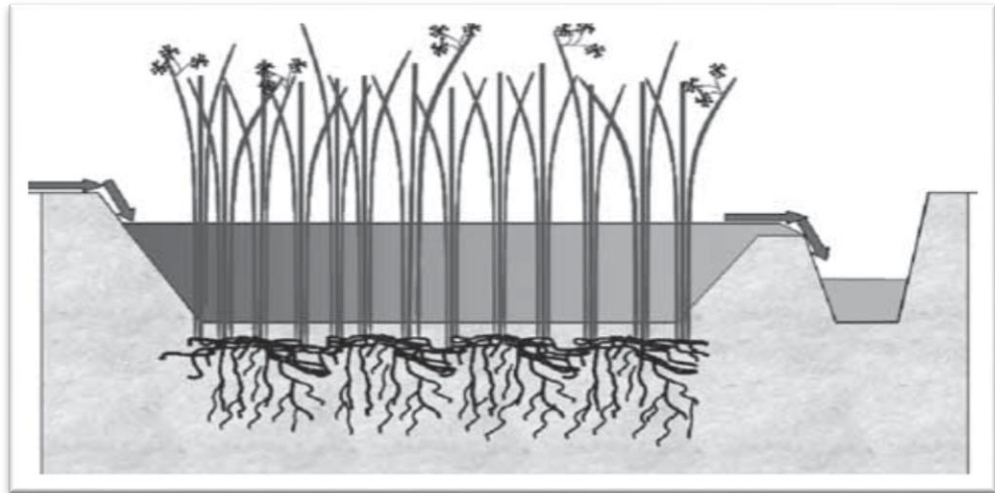
*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

### **2.5.2.1 Humedal de flujo superficial**

Los sistemas de flujo superficial son aquellos donde el agua se transporta de manera preferente por medio del tallo de la planta y queda comprometida directamente a la atmósfera. Estos tipos de pantanos son un método cambiado o modificado del sistema de lagunas convencionales. Una diferencia de éstos métodos, es que poseen menor profundidad (máximo de 0,6 m) y contienen vegetales o plantas (Delgadillo, y otros 2010).

En términos de paisaje, este sistema es bastante recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Pueden constituirse, en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen (Delgadillo, y otros 2010).

***Ilustración 4: Humedal artificial de flujo superficial.***



*Fuente: (Delgadillo, y otros 2010)  
Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel.*

### **2.5.2.2 Humedal de flujo subsuperficial**

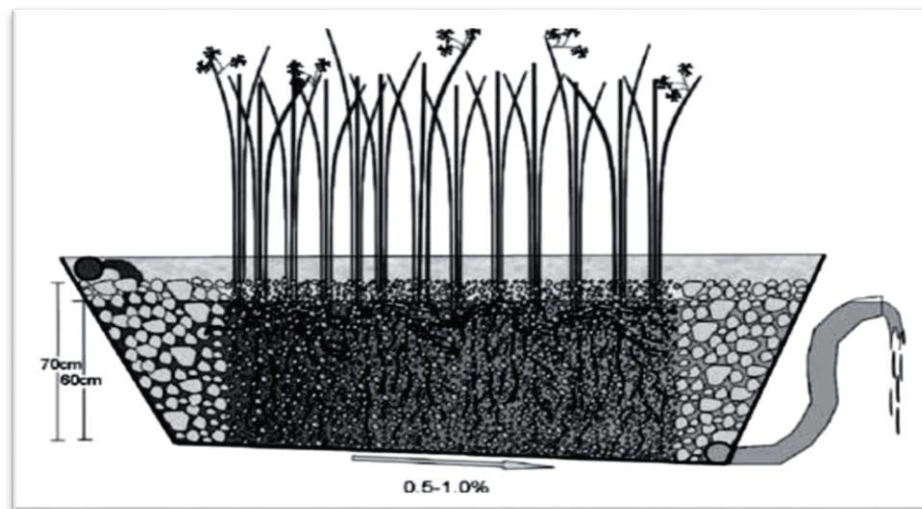
Los sistemas de flujo subsuperficial, se singularizan por que la transportación del agua en ella se da en el curso de un medio de grava (subterráneo), con profundidad aproximada de 0,6 m de agua. Las plantas se siembran en el medio de grava y el agua debe estar en roce con los rizomas y raíces de la vegetación. Los pantanos de flujo subsuperficial se pueden clasificar de dos formas en función a la manera de suministrarle el agua al sistema: pantanos de flujo subsuperficial horizontal y pantanos de flujo subsuperficial vertical (Delgadillo, y otros 2010).

#### **2.5.2.2.1 Humedales subsuperficiales de flujo horizontal**

Estos sistemas tienen su origen en la investigación de Seidel (1967) y Kickuth (1977). (Delgadillo, y otros 2010).

El diseño de estos sistemas consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*), toda la cama debe ser recubierta por una membrana impermeable para evitar infiltraciones en el suelo según (Brix en Kolb, 1998). (Delgadillo, y otros 2010).

***Ilustración 5: Humedal subsuperficial de flujo horizontal.***



***Fuente: (Delgadillo, y otros 2010).***

***Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel.***

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 % (Delgadillo, y otros 2010).

El agua residual no entra de manera directa al medio de grava (cuerpo), sino que se encuentra una región de amortiguamiento que por lo general se conforma por una grava de diámetro más grande que las del cuerpo (Delgadillo, y otros 2010).

El modo de recogida se trata de un tubo de drenaje cribado, rodeado con medio granular del mismo grosor que la usada al principio. El diámetro de la grava a la entrada y a la salida está en el rango de 50 mm a 100 mm. El sector de vegetación está compuesto por grava pequeña de diámetro que oscila los 3 mm a 32 mm. (Delgadillo, y otros 2010).

El agua residual que ingresa al sistema se va a mantener en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), esto es debido a que el nivel del dispositivo de salida se va a ir regula en función a este requerimiento (Delgadillo, y otros 2010).

### **2.5.2.2.2 Humedales subsuperficiales de flujo vertical**

Estos sistemas son cargados de manera intermitente, de tal manera que las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. (Delgadillo, y otros 2010).

Este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías, las aguas se infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La administración de agua se realiza de manera intermitente, para conservar e incitar las condiciones aerobias al máximo. La vegetación flotante se siembra también en el medio granular (Delgadillo, y otros 2010).

Adicionalmente, para ayudar a las condiciones aerobias en el medio poroso, se acostumbra a utilizar un sistema de aeración con chimeneas, que serían tubos cribados con salidas a la atmósfera. En este tipo de humedales, el sustrato tiene varias capas, donde las más finas están en la parte superior, las cuales aumentan el diámetro de la grava hacia abajo (Delgadillo, y otros 2010).

## **2.6 Diseño y construcción de un humedal de flujo subsuperficial.**

Construir un humedal no es cuestión de abrir un hueco, llenarlo con agua y unas pocas plantas y dejarlo para otro proyecto. El diseño, construcción y restauración de un humedal necesita concebirse en un sentido ecológico y de forma predictiva (Roldán Pérez y Ramírez Retrepo 2008).

### **2.6.1 Las características ecológicas**

Las características ecológicas que un área cumplirá obligatoriamente para considerarse humedal son las siguientes según (Bravo & Windevoxhel, 1997). (Roldán Pérez y Ramírez Retrepo 2008):

Vegetación hidrófila: asociada a medios acuáticos o semi-acuáticos.

- ✓ Suelos hídricos – los que se desarrollan en condiciones de alta humedad, que pueden llegar incluso al grado de saturación, presentan condiciones anaeróbicas en sus secciones superiores.

- ✓ Condición hídrica determinada por la influencia climática; ligada a ellas hay otras variables como los procesos geomorfológicos, topográficos y el material constituyente.

### 2.6.2 Características de diseño.

El proceso para diseñar un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (SFCW), implica varios pasos, las sugerencias de criterios específicos están basadas en resultados observados en instalaciones existentes (USEPA 2011):

- Determinación de las condiciones existentes (DBO, TSS del afluente, temperatura promedio de las aguas residuales, promedio del flujo diario del efluente).
- Determinación de la calidad deseada del efluente (DBO y TSS)
- Selección de la profundidad del lecho (se sugiere un máximo de 0,62 m de la estructura), tipo de estructura, y tamaño (se sugiere utilizar roca insoluble de 2 a 5 pulgadas de diámetro)
- Selección de un valor para los espacios vacíos dentro de la estructura de roca.
- $n = 0,35$  si se usan plantas
- $n = 0,45$  si no se usan plantas
- Una proporción inicial de largo ancho del humedal debe ser seleccionada basándose en el área calculada para alcanzar la reducción de DBO. Se sugiere que inicialmente se seleccione una proporción de largo ancho de 2-1. La proporción final global dependerá de los factores hidráulicos.
- Cálculo del área de la superficie necesaria utilizando la ecuación de eliminación de DBO de primer orden:

Ecuación 1.

$$A_s = (L)(W) = Q \left[ \ln \left( \frac{C_o}{C_e} \right) \right] / K_t n$$

Ecuación 2.

$$K_t = K_{20}(\theta)^{T-20^\circ C}$$

Donde:

As=Área superficial del SFCW (ft<sup>2</sup>) o (m<sup>2</sup>)

L= Longitud (ft) o (m)

W=Ancho (ft) o (m)

Q=Flujo (ft<sup>3</sup>/día) o (m<sup>3</sup>/día)

C<sub>o</sub>=Afluente DBO (mg/l)

C<sub>e</sub>=Efluente DBO (mg/l)

K<sub>t</sub>= Proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales T °C

K<sub>20</sub>= Proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales T=20°C

d= Profundidad promedio del agua en el filtro (ft) o (m)

n= Porosidad de la estructura del filtro (% como decimal)

$$K_{20} = 1.104$$

$$\theta = 1.06$$

- Cálculo de la capacidad del diseño para conducir el flujo a través del humedal, usando la fórmula de Darcy:

Ecuación 3.

$$Q = K_s AS$$

Donde:

Q= Flujo capaz de pasar a través del SFCW (ft<sup>3</sup>/día) o (m<sup>3</sup>/día)

K<sub>s</sub>=Conductividad hidráulica de una unidad de área de la estructura (para una estructura de 2-5 pulgadas [50.8-127mm] media K<sub>s</sub>=328,100ft<sup>3</sup>/ft<sup>2</sup>/día [100,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día]) (el más sugerido 0.3 K<sub>s</sub> como factor de seguridad).

S=Gradiente hidráulico de la superficie del agua en el sistema (d/l) (el más sugerido es 0.1 como máximo S como factor de seguridad)

A= Área transversal del SFCW (ft<sup>2</sup>) o (m<sup>2</sup>)

➤ Cálculo de retención teórico es la siguiente:

Ecuación 4.

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{\text{volumen} * \text{espacio vacío}}{\text{flujo}}$$

### **2.6.2.1 Determinar las condiciones existentes (afluente DBO, SST)**

Normalmente las aguas residuales sin tratamiento previo presentan un DBO, de entre 400 y 110 mg/L, y la concentración de los SST entre 350 y 100 mg/L (Ramos Olmos, Sepúlveda Maquéz y Villalobos Moreto 2003).

### **2.6.2.2 La temperatura media diaria flujo afluente**

La temperatura media anual se halla dividiendo por 12 la suma de las medias mensuales de los 12 meses del año; la mensual o media de cada mes dividiendo por el número de días del mismo la suma de las medias diarias resultantes en aquellos, y la diaria o diurna sumando las medias horarias, observadas en las diferentes horas del día y dividiendo la suma por el número de observaciones (Moron Y Liminiana 1868).

### **2.6.2.3 Una relación inicial entre longitud y anchura del humedal**

En algunos casos, las instalaciones grandes necesitarán un ancho mayor que el largo. En estos casos, se sugiere que el filtro se divida en varias unidades de filtros más pequeñas, para que individualmente cada filtro sea más largo que ancho. Esto ayudaría a prevenir un corto circuito dentro del flujo (USEPA 2011).

Mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros. Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1, (Delgadillo, y otros 2010)

#### **2.6.2.4 El sustrato**

Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro con la que aparentemente se tiene un buen funcionamiento (Delgadillo, y otros 2010).

Con la utilización de sustratos de diámetros grandes, se va a incrementar la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño (Delgadillo, y otros 2010).

Caso opuesto pasaría con la grava de tamaño muy pequeño, que por su diminuto tamaño esta disminuye la velocidad del flujo de agua provocando regiones con existencia de agua en la superficie y caudales preferenciales, con la ventaja de brindar una mayor área en la superficie para el trabajo microbiano y la adsorción (Delgadillo, y otros 2010).

En varios casos se aplica algunos tipos de suelo como arcillas para la adsorción de metales pesados, fosfatos, etc. El inconveniente es la gran reducción de la velocidad de paso del agua (Delgadillo, y otros 2010).

Antes del inicio del diseño se recomienda realizar pruebas de conductividad y porosidad del sustrato (grava), esto para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3 o bien por 0.1 (10%) para que no existan problemas de atascamiento por la presencia de lodos, raíces y otros. Con relación a la uniformidad del material este debe tener un coeficiente de uniformidad entre 1 y 6 (Delgadillo, y otros 2010).



**Tabla 5: Materiales utilizados para el diseño y construcción de humedales horizontales.**

<b>Tipo de material</b>	<b>Tamaño efectivo D10 (mm)</b>	<b>Conductividad hidráulica, ks (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Porosidad, n (%)</b>
Arena gruesa	2	100-1000	28-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava fina	16	1000-10000	35-38
Grava media	32	10000-50000	36-40
Roca gruesa	128	50000-250000	38-45

*Fuente: Reed et al., 1995 citado en (Delgadillo, y otros 2010)*

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel.*

## **2.7 Agua Residual de descarga pos-tratamiento.**

Para el cálculo, diseño y dimensionamiento, de las plantas de tratamiento, se aplican las normas técnicas siguientes:

- Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, publicadas en 1995, Décima Parte (X) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Normas recomendadas por la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Proyecto de Código Ecuatoriano para el diseño de la Construcción de Obras Sanitarias Co 10.07 – 601 Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Rural (SSA).

La caracterización se realiza al agua residual y calidad del efluente que se descarga al canal agua dulce usada para el riego de para en la agricultura. Se registrará la presente investigación a la normativa emitida por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente 2012).

**Tabla 6: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	5-9
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2

Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	D.B.O5	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	D.Q.O.	mg/L	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fosforo total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Nitrógeno total	N	mg/L	15
Coliformes fecales	Nmp/100ml	Remoción hasta el 99,9%	
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1

Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Selenio	Se	mg/l	0,1
Solidos suspendidos		mg/L	100
Solidos sedimentables		mg/L	1
Solidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> =	mg/L	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tenso-activos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

*Fuente: (Ministerio del Ambiente 2012)  
Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel.*

## **CAPÍTULO III**

### **3.1 Hipótesis**

El diseño de un pantano seco artificial, permitirá el control de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas presentes en la descarga de las aguas residuales del cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí

### **3.2 Variables y su Operacionalización**

#### **3.2.1 Variable independiente**

Diseño de un pantano seco artificial (humedal artificial).

#### **3.2.2 Variable dependiente**

Control de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas.

### 3.2.3 Operacionalización de las variables

**VARIABLE INDEPENDIENTE:** Diseño de un pantano seco artificial (humedal artificial)

CONCEPTO	DIMENSIÓN O CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMES	INSTRUMENTO
<p>Se entiende por pantano seco artificial, al tratamiento biológico que tiene por objetivo la remoción o inactivación de microorganismos y agentes no deseados en determinada área, sustancia u otros, mediante el uso de plantas y bacterias, que degradan la materia.</p>	<p>Pantano Artificial- Agua Residual</p> <p>Contaminación ambiental</p>	<p>Capacidad de reducir la carga microbiana y compuestos tóxicos</p> <p>Salud y Ambiente</p>	<p>¿Cómo determinar la reducción de la carga microbiana y compuestos tóxicos en las aguas residuales del cantón Rocafuerte?</p> <p>¿Qué parámetros se utilizan para un adecuado cuidado del ambiente?</p>	<p>Análisis físico-químicos y microbiológicos (Documental).</p> <p>Normativa sobre los criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces</p>

**VARIABLE DEPENDIENTE:** Control de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas.

CONCEPTO	DIMENSIÓN CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMES	INSTRUMENTO
<p>La presencia de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas indican la calidad de agua residual que se descarga, estos agentes mencionados anteriormente, representan una gran amenaza a la salud y el medio.</p>	<p>Parámetros microbiológicos</p> <p>Tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>Agentes patógenos.</p> <p>Compuestos tóxicos- Metales pesados</p>	<p>¿Cómo determinar la presencia de organismos patógenos en las aguas residuales del cantón Rocafuerte?</p> <p>¿Qué tratamiento sería adecuado para la eliminación de compuestos tóxicos y metales pesados en las aguas residuales del cantón Rocafuerte?</p>	<p>Análisis Microbiológicos (Documental).</p> <p>Tratamiento biológico</p>

### **3.3 Comprobación cualitativa de la hipótesis**

Al inicio del trabajo se planteó la siguiente hipótesis:

“El diseño de un pantano seco artificial permitirá, el control de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas presentes en la descarga de las aguas residuales del cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí”.

Una vez analizada las diferentes alternativas, en cuanto a humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales, se eligió el diseño que cumpla con todas las condiciones requeridas por el mismo.

Por las condiciones aptas para el diseño y además el buen rendimiento de los humedales artificiales en tratamiento del agua residual, hace factible la aplicación del proceso, por lo que se determina que la hipótesis se ACEPTA.



## **CAPITULO IV**

### **4.1 Diseño metodológico**

#### **4.1.1 Tipo de diseño**

La presente investigación fue de tipo documental porque se consultó información extraída a partir de fuentes de bases secundarias que brinden datos de las características y diseños de Humedales Artificiales aplicados como alternativa a los tratamientos convencionales de aguas residuales.

#### **4.1.2 De campo**

Porque permitió estudiar una situación para el diagnóstico de las necesidades y problemas a efectos de conocer su realidad para establecer lineamientos alternativos.

### **4.2 Métodos**

Los métodos con los cuáles se desarrollará la presente investigación son:

- Método cuantitativo se aplicó con el fin realizar diferentes tipos de cálculos de diseños, en cuanto a caudal de agua a tratar a futuro.
- Métodos cualitativos se aplicó con el fin de determinar el diseño de humedal artificial más conveniente
- Método topográfico (ubicación de la planta). El terreno donde se ubicará el humedal artificial está ubicado a  $0^{\circ}55'0.86''S$  de Longitud,  $80^{\circ}25'51.64''O$  de Latitud, a 115msnm; se tomó 8 puntos de detalles en el perímetro del predio y un punto topográfico o de referencia, se aplicó los métodos planimétricos para obtener las coordenadas de los puntos y métodos altimétricos para determinar la diferencia de altura entre estos.

### **4.3 Instrumentos**

- Los instrumentos utilizados en el presente trabajo fueron:
- Tablas e ilustraciones
- Cuadernos de notas

### **4.4. Recursos**

#### **4.4.1. Humanos**

- Ingenieros de la Carrera de Ingeniería Química
- Docentes
- Autoridades
- Investigadoras

#### **4.4.2. Materiales**

- Textos
- Copias
- Formularios
- Materiales de oficina
- Otros

#### **4.4.3. Equipos Tecnológicos**

- Computadoras
- Internet
- Proyector
- Cámaras fotográficas
- Pen drive
- Impresoras

#### **4.4.4. Económicos**

- La investigación tendrá un costo de US \$1276,00 valor que será financiado por los autores de la investigación.

## CAPITULO V

### 5.1 Generalidades del área de estudio

El cantón Rocafuerte cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, el cual, como se dijo anteriormente no cumple satisfactoriamente con la depuración del agua residual, por lo que este estudio propone la creación de una planta de tratamiento de agua residual, denominada pantano seco o humedal artificial, con lo cual se pretende dar solución al problema.

Los pasos requeridos por el estudio, involucran la medición del caudal de agua residual a tratar, basados en el estudio de impacto ambiental realizado en el 2015. Se caracterizará el agua residual del cantón para de esta manera diseñar y ubicar la planta.

### 5.2 Localización de la investigación

#### 5.2.1. Localización geográfica

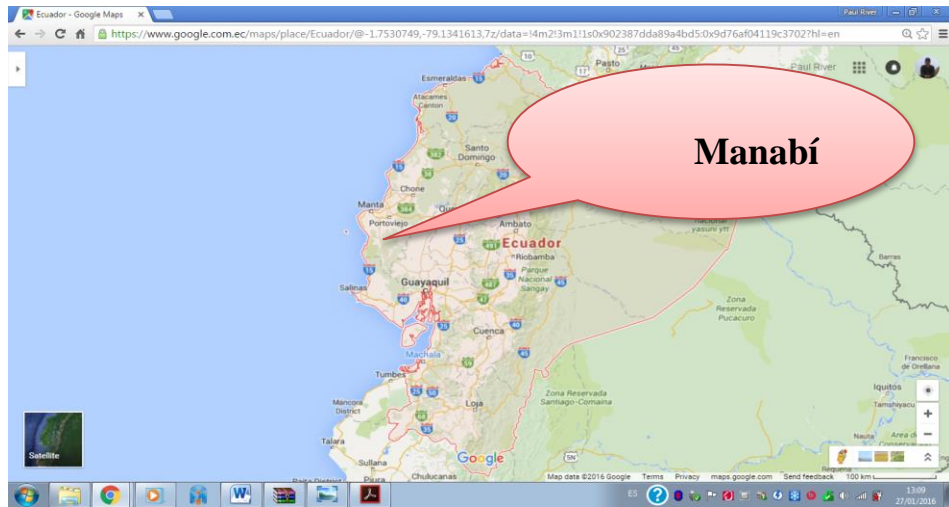
*Tabla 7: Localización geográfica.*

<b>País:</b>	<b>Ecuador</b>
<b>Región:</b>	<b>Costa</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Manabí</b>
<b>Cantón:</b>	<b>Rocafuerte</b>
<b>Parroquia:</b>	<b>Rocafuerte</b>
<b>Sector:</b>	<b>La Recta</b>

*Fuente: internet*

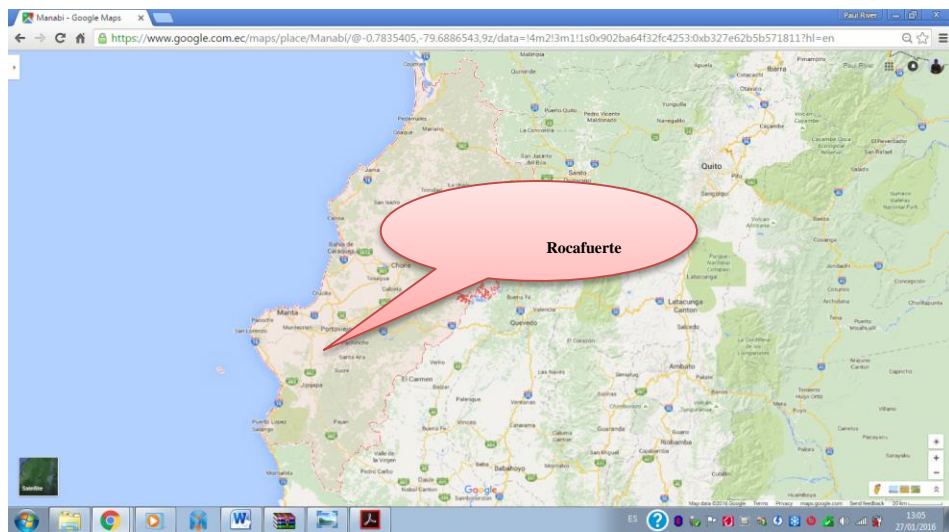
*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

**Ilustración 6: Localización de la Provincia de Manabí en el Ecuador.**



**Fuente:** internet  
**Elaborado por:** Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel

**Ilustración 7: Localización del cantón Rocafuerte en Manabí.**



**Fuente:** internet  
**Elaborado por:** Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel

### ***Ilustración 8: Localización de la planta de aguas residuales en Rocafuerte.***



*Fuente: internet*

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

El área de estudio está ubicada al cantón Rocafuerte, el cual está situado a 24 Km al Noroeste de Portoviejo, sobre una carretera de primer orden que lo comunica con las principales ciudades de la provincia y el país. Tiene una topografía relativamente plana con una ligera pendiente hacia la planicie del río Portoviejo, siendo la altura promedio en el poblado de 20 msnm.

Las coordenadas del cantón son 0°55'0" S y 80°28'0" W Su posición UTM es NU59 y su referencia Joint Operation Graphics es SA17-03.

## **5.3 Características geográficas**

### **5.3.1 Clima**

Es relativamente fresco y tiene una temperatura media anual de 25° C. precipitaciones medias de 163.5 mm. En la zona occidental está influenciado por los vientos marinos que entran por la ensenada de Crucita, la humedad relativa = 84%. Según la clasificación Holdrige: Monte Espinoso Tropical y Bosque Muy Seco Tropical.

Tipo de Clima: Según el Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria SIGAGRO, Rocafuerte presenta dos climas = el Tropical Mega-térmico Seco hacia el lado oeste y el Tropical Mega-térmico Semi – Árido que se ubica en el extremo este.

### **5.3.2 Características topográficas**

Rocafuerte posee una superficie Semi-plana, su máxima altura es de 215msnm, en la comunidad conocida como San Miguel de Tres Charcos y la menor en el sector “El Pueblito” con 8msnm, forma parte del valle del Río Portoviejo.

### **5.3.3 Riesgos naturales**

Como gran parte de la provincia, Rocafuerte es propensa muchos riesgos naturales, sin embargo uno de ellos es muy relevante, el riesgo a inundaciones en épocas de invierno, la cual afecta a gran parte de la población con serias repercusiones en la salud, más aun cuando estas invaden las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de agua residuales del cantón, causando desbordes de la misma.

## **5.4 Agua residual del cantón Rocafuerte.**

La ciudad de Rocafuerte posee un sistema de redes sanitarias, estaciones de bombeo y lagunas para el almacenamiento y tratamiento de sus aguas residuales urbanas, también genera una descarga líquida, es importante señalar que en la zona de influencia directa a las lagunas no existe cuerpo de agua natural superficial (río) que pudiera correr riesgo de contaminación, y con relación al nivel freático de la zona éste es alto, de allí que el parámetro salinidad es alto por el alto nivel freático, según el ensayo realizado, siendo un parámetro que indisponen el normal proceso biológico para descomponer la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales doméstica (García Gómez 2015).

En los actuales momentos una parte del agua residual ya tratada se utiliza para riego de especies forestales y gramíneas, específicamente maíz y pasto de corte. Cabe señalar, que considerando el tipo de sistema de tratamiento, que son lagunas, por principio; este método de tratamiento es el más idóneo para climas secos como el que posee la ciudad de Rocafuerte, ya que los factores climáticos que más inciden en

el tratamiento son: luminosidad, evaporación, aireación natural, desinfección por exposición directa y prolongada a los rayos UV, filtración, evotranspiración de las plantas acuáticas (García Gómez 2015).

**Tabla 8. Parámetros del agua residual tratada del cantón Rocafuerte**

LABORATORIO	PARÁMETROS	AGUA RESIDUAL DE DESCARGA
DQM	PH	8,25
	TDS (mg/L)	4090
	Coliformes fecales NMP/100ml	1000
	Coliformes Totales NMP/100ml	119800
	Aceites y grasa (mg/L)	<0,44
	Tenso-activos (mg/L)	0,10
	DQO (mg/L)	107
	DBO (mg/L)	250
	Nitritos (mg/L)	0,033
	Nitratos (mg/L)	1,33
	Cloruros (mg/L)	1390,29
	Sulfatos (mg/L)	123,6

*Fuente: (García Gómez 2015)*

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

**Tabla 9. Defectos del sistema de lagunaje de Rocafuerte**

<b>DEFICIENCIAS DEL SISTEMA DE LAGUNAJE DEL CANTÓN ROCAFUERTE</b>
1.- No cuenta con un sistema de cribado en la entrada a las lagunas.
2.- No cuenta con un sistema de aireación.
3.- El terreno donde está construido tiene un alto nivel de salinidad.
4.- Exceso de vegetación en las diferentes lagunas (aerobia, facultativa y de maduración).
5.- En temporada de invierno existe desbordamiento en las lagunas.

*Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*



**Tabla 10. Comparación de parámetros permisibles para el agua tratada.**

<b>Parámetros</b>	<b>Agua residual de descarga (lagunas de oxidación)</b>	<b>Máximo para uso agrícola</b>	<b>Máximo para descarga a agua dulce</b>
PH	8,25	6-9	5-9
TDS (mg/L)	4090	3000	No establece
Coliformes fecales NMP/100ml	1000	No establece	Remoción hasta el 99,9%
Coliformes Totales NMP/100ml	119800	1000	No establece
Aceites y grasa (mg/L)	<0,44	0,3	0,3
Tenso-activos (mg/L)	0,10	No establece	0,5
DQO(mg/L)	107	No establece	250
DBO(mg/L)	250	No establece	200
Nitritos (mg/L)	0,033	No establece	10 (nitratos + nitritos expresado como N)
Nitratos (mg/L)	1,33	No establece	10 (nitratos + nitritos expresado como N)
Cloruros (mg/L)	1390,29	No establece	1000
Sulfatos (mg/L)	123,6	No establece	1000

*Fuente: (García Gómez 2015)  
Elaborado por: Vélez Vanessa y Pilligua Gabriel*

## CAPITULO VI

### Presentación de cálculos y los tipos de planta.

#### 6.1 Presentación cálculos

Los cálculos de diseño en cuanto a caudal, están basados de acuerdo al CPE INEN 005-9-2 (1997) (Spanish): Código Ecuatoriano de la construcción. (C.E.C) diseño de instalaciones sanitarias: Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.

##### 6.1.1 Población de diseño

Según el INEC, el cantón Rocafuerte en el 2010 tiene 33.469 habitantes.

La tasa de crecimiento para la construcción de servicios básicos es de 1,5 para el sector costa. Para obtener la población de diseño se emplea una proyección demográfica la que se calcula con el método geométrico mediante la siguiente ecuación:

$$Pf = Pa \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Donde:

- $Pf$  es la población futura (hab.)
- $Pa$  es la población actual (hab.)
- $r$  es la tasa de crecimiento anual en forma decimal %
- $n$  es el periodo de diseño en años

Remplazando:

$$Pf = 33469 \text{ hab.} \left(1 + \frac{1,50}{100}\right)^{20}$$

$$Pf = 45078 \text{ hab.}$$

### 6.1.2 Caudal de diseño

Para el cálculo del caudal de diseño del humedal, se tomará el mismo método de cálculo del caudal de diseño que se utiliza para la construcción de tubería del alcantarillado sanitario, el cual se lo calcula como caudal medio diario afectado por un factor de mayoración:

$$Q_D = M * Q_{MH}$$

Donde:

$Q_D$  es el caudal de diseño en (L/s)

M es el factor de mayoración, que según Confederación Hidrográfica del Júcar, para las aguas residuales no tratadas poseen un coeficiente de mayoración de 2.5.

$Q_{MH}$  es el caudal máximo horario de aguas residuales en (L/s)

#### 6.1.2.1 Cálculo del caudal máximo diario.

Cálculo del caudal máximo diario se lo realiza mediante la siguiente formula:

$$Q_{MH} = K_{MH} * Q_M$$

Donde:

$Q_{MH}$  es el caudal máximo diario en (L/s)

$K_{MH}$  es el factor de mayoración máximo diario en (L/s), que tiene un valor de 3 según el (C.E.C)

$Q_M$  es el caudal medio en (L/s), el dato de caudal medio fue facilitado por el departamento de agua potable y alcantarillado del cantón EPAPAR (1500 m<sup>3</sup>/día o 17,36 l/s)

Remplazando en formulas:

Caudal máximo diario:

$$Q_{MH} = 3 * 17,36 \frac{l}{s}$$

$$Q_{MH} = 52,08 \frac{l}{s}$$

Caudal de diseño:

$$Q_D = M * Q_{MH}$$

$$Q_D = 2,5 * 52,08 \frac{l}{s}$$

$$Q_D = 130,2 \frac{l}{s} = 11249,2 \frac{m^3}{D}$$

### 6.1.3 Cálculo del Área de superficie del humedal

El área superficial del humedal se calcula con la siguiente formula (USEPA 2011)

Datos obtenidos del estudio de impacto ambiental del cantón Rocafuerte 2015:

- $C_o$ =Afluente DBO (mg/l) = 230
- $C_e$ =Efluente DBO (mg/l) = 100

Datos recomendados para el diseño según la USEPA:

- $n = 0,35$
- $d = 0,6$  m
- $T = 27$  °C
- $K_{20} = 1.104$
- $\theta = 1.06$

$$K_t = K_{20}(\theta)^{T-20^{\circ}C} = 1.104 * 1.06^{27^{\circ}C-20^{\circ}C} = 1,66$$

Formula:

$$As = L * W = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_t dn}$$

- $K_t = K_{20}(1,06)^{T-20^\circ C}$
- $K_{20} = 1.104$

Reemplazando:

$$As = \frac{11249,2 \frac{m^3}{D} * \ln\left(\frac{230}{100}\right)}{1,06 \frac{m^3}{m^2 D} * 0,35 * 0,6}$$

$$As = 42091 m^2$$

Relación largo ancho recomendado 2 a 1 (  $2L = W$  ) entonces:

$$As = L * 2L$$

$$L^2 = \frac{As}{2} = \frac{42091 m^2}{2}$$

$$L = 145,07m$$

$$W = \frac{As}{L} = \frac{42091m^2}{145,07m} = 290,14m$$

#### 6.1.4 Cálculo del tiempo de retención

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{\text{volumen} * \text{espacio vacío}}{\text{flujo}}$$

Remplazando:

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{W * L * d * n}{Q_D}$$

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{290,14 \text{ m} * 145,07\text{m} * 0,6\text{m} * 0,35}{11249,2 \frac{\text{m}^3}{\text{D}}}$$

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{8839.028058\text{m}^3}{11249,2 \frac{\text{m}^3}{\text{D}}}$$

$$\text{Tiempo de retención} = 0.785 \text{ Dia}$$

## 6.2 Tipos de plantas a utilizar para el diseño del humedal artificial

**Tabla 11. Ventajas y Desventajas de las plantas más utilizadas para humedales artificiales**

TIPOS DE PLANTAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Totora ( <i>Scirpus californicus</i> )	<p>Tienen epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes y tejidos; grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. (Delgadillo, y otros 2010)</p> <p>Tienen un gran rango de adaptación; por ello es que constituyen las especies</p>	<p>Tiene un proceso muy lento, porque la planta tiene que crecer primero y porque la eficacia de la recuperación es tremendamente variable según las condiciones climáticas. (Delgadillo, y otros 2010)</p> <p>Otro problema que presenta es que si las hojas y tallos muertos de la totora</p>

	<p>dominantes en lugares donde las condiciones restringen las posibilidades de desarrollo de otras especies (Delgadillo, y otros 2010)</p>	<p>quedan en el agua, esa biomasa que ha absorbido los nutrientes (fósforo y nitrógeno) va a dejar escapar a los mismos, y todo quedará de nuevo en el lago. (Delgadillo, y otros 2010)</p>
<p>Helófitas</p>	<p>Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas. (Delgadillo, y otros 2010)</p> <p>Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal. (Delgadillo, y otros 2010)</p> <p>Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación. (Delgadillo, y otros 2010)</p>	<p>La especie helófitas utilizada, tienen en general baja eficiencia en la remoción de nutrientes, sobre todo en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. (Delgadillo, y otros 2010)</p>

*Elaborado por: Pilligua Gabriel y Vélez Vanessa*

## CAPITULO VII

### 7 Diseño del pantano para el cantón Rocafuerte

#### 7.1 Ubicación

El pantano seco artificial se ubicará al lado de las actuales lagunas de oxidación del cantón, ya que cuenta con una gran área para su construcción y cumple con las características topográficas requeridas; además de que sería la mejor opción para no hacer un cambio total en la reestructuración del sistema de alcantarillado de Rocafuerte.

#### 7.2 Dimensionamiento

*Tabla 12. Resultados de los cálculos de diseño para el Humedal Artificial*

PARÁMETRO	VALOR
Caudal de diseño	$11249,2 \frac{m^3}{D}$
Área Superficial	$42091 m^2$
Tiempo de Retención	$0,785 \text{ Dias}$
Longitud	$145,07 m$
Ancho	$290,14 m$
Profundidad	$0,6 m$
Declive	$1\%$

*Elaborado por: Pilligua Gabriel y Vélez Vanessa*



Con estas especificaciones, realizadas con los cálculos pertinentes se construirá el pantano seco artificial.

De acuerdo al área obtenida, el pantano se separará en tres secciones para tener mejores resultados en la depuración de las aguas residuales

### **7.3 Material impermeable**

Se utilizará 43212m<sup>2</sup> de plástico impermeable de uso industrial para cubrir el suelo, una vez hecha las respectivas excavaciones y acondicionamientos (aplanamiento, declive, etc.).

### **7.4 Sustrato**

Como sustrato se usará 25404m<sup>3</sup> de grava de 3cm de diámetro, ya que esta es la mejor opción para que el caudal se distribuya uniformemente, además de que con esto el flujo es regulado para una mejor depuración de la aguas residuales, y no es acelerado como con la grava de mayor diámetro en la que el flujo va más rápido y la depuración no es tan eficiente, caso contrario con la grava de menor diámetro que obstruiría el paso del flujo y habría desbordamiento de las aguas residuales.

### **7.5 Vegetal**

Se utilizarán plantas Totoras como medios depurantes en el sistema del humedal artificial, por ser plantas que se adaptan muy bien al medio (clima, características topográficas, etc.), aparte de que estas plantas son de fácil adquisición por sus costos y abundancia. De acuerdo a lo establecido en el libro de sistema de depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales se recomienda sembrar esta planta cada 0,5m de distancias entre ellas. Por lo que tomando en consideración estas recomendaciones y adaptándolo a las dimensiones del pantano artificial para el cantón, se requieren 114242 plantas totoras, las cuales se las obtendrá de las lagunas del cantón ubicadas en el sitio Tabacales.

### **7.6 Diseño de entrada y salida**

Se utilizarán tubería de PVC de 250mm de diámetro perforadas, 250m en la entrada del pantano seco artificial ubicada a lo ancho del sistema para dar

uniformidad al caudal, de la misma manera se usará 250m del mismo tipo de tubería para la salida del agua del sistema y su posterior descarga. También se necesitará 100m de este tipo de tubería sin perforar para hacer las respectivas conexiones del agua residual que llega del sistema de alcantarillado de la ciudad de Rocafuerte.

## 7.7 Accesorios

Se usarán dos válvulas para controlar los flujos tanto de lo que entra como del que sale. Así mismo se instalará una caja de revisión en la cual irá una rejilla para retener cualquier tipo de material demasiado grande que pueda causar inconvenientes en el proceso de depuración.

## 7.8 Presupuesto de la construcción del humedal artificial

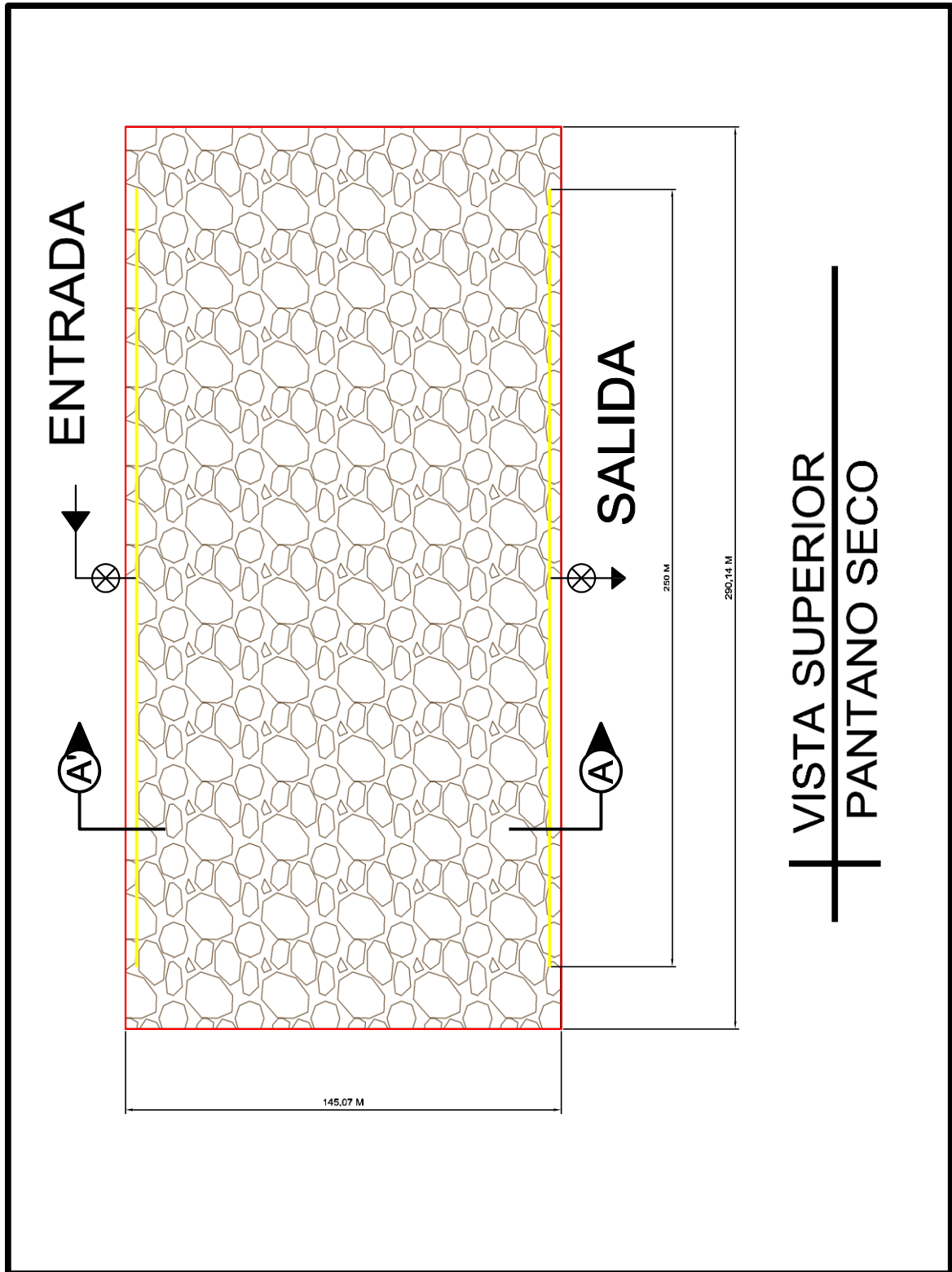
*Tabla 13. Descripción de rubros, unidades, cantidades y precios*

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL USD
1	Excavación y Desalojo	M <sup>3</sup>	42340.00	8.50	359890.00
2	Replanteo y Nivelación	M <sup>2</sup>	42340.00	0.92	38952.80
3	Relleno de Grava (3cm)	M <sup>3</sup>	25404.00	26.38	670157.52
4	Tubería de PVC perforada (250mm)	M	500.00	40.00	20000.00
5	Tubería de PVC (250mm)	M	100	30.00	3000.00
6	Válvula para control de caudal	UNIDAD	2.00	150.00	300.00
7	Colocación de planta (TOTORA)	M <sup>2</sup>	21170.00	1.00	21170.00
8	Caja de Revisión (1.40X1.40)m	UNIDAD	1.00	300.00	300.00
9	Plástico Impermeable	M <sup>2</sup>	43212.00	5.00	216060.00
TOTAL					1329830.32
IVA 0%					
SUMA TOTAL					1329830.32

*Elaborado por: Pilligua Gabriel y Vélez Vanessa*

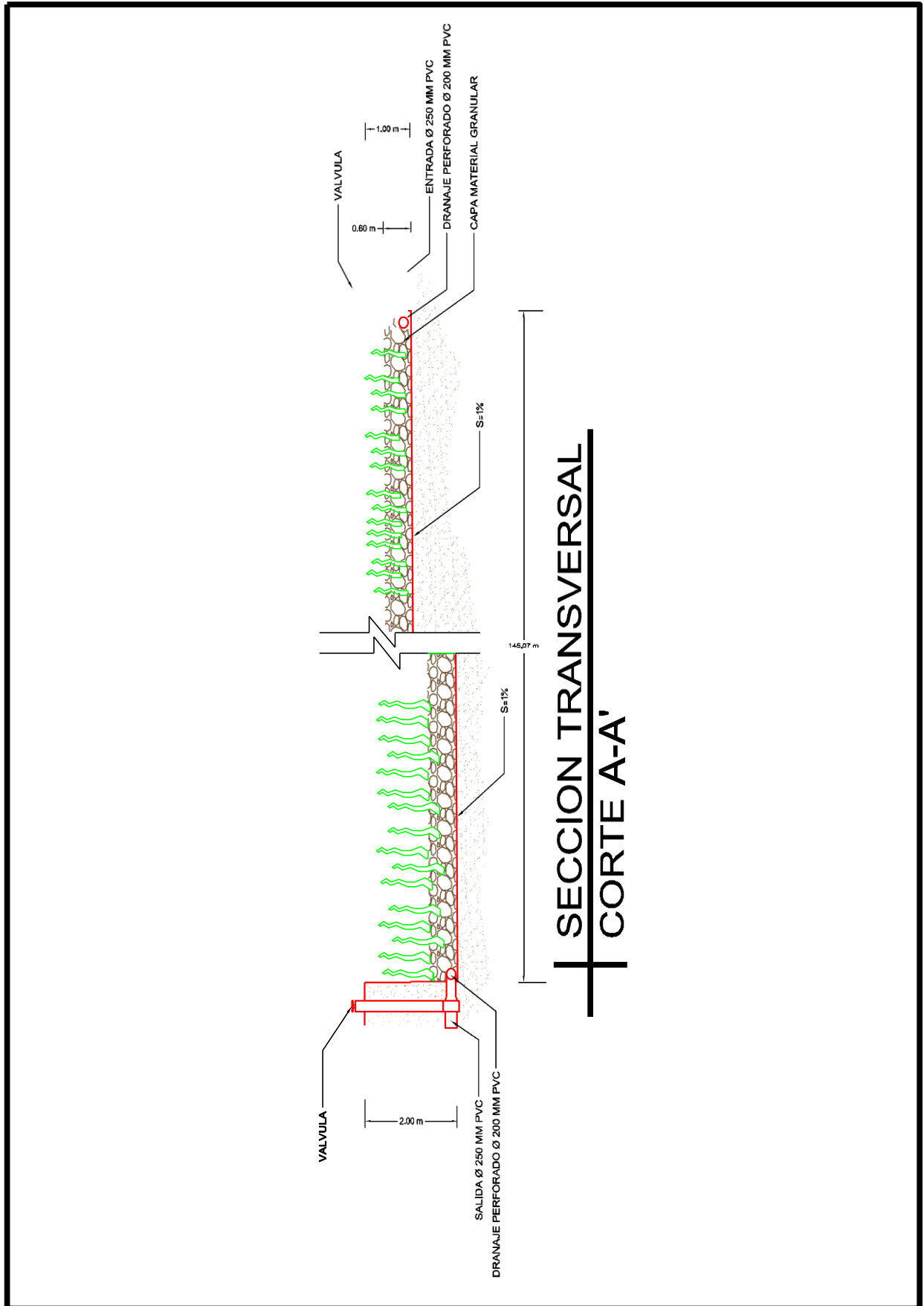
## 7.9 Diseño del Pantano Seco Artificial

Ilustración 9. Vista Superior del Diseño del Pantano Seco



Elaborado por: Gabriel Pilligua y Vanessa Vélez

*Ilustración 10. Sección Transversal del Diseño del Pantano Seco*



Elaborado por: Gabriel Pilligua y Vanessa Vélez

## Conclusiones

- ✓ Mediante el estudio de Impacto Ambiental 2015 en Rocafuerte, concluimos que las deficiencias presentes en las actuales lagunas de oxidación son: que no cuenta con un sistema de cribado para retener materiales de gran tamaño, tampoco cuenta con un sistema de aireación en las lagunas aerobias, por lo que la aireación se da de manera natural lo que no ayuda al desarrollo adecuado para los microorganismos, además del nivel alto de salinidad que impide que la degradación de la materia orgánica sea satisfactoria.
- ✓ Con el análisis al agua residual, realizada por el GAD Municipal de Rocafuerte. Se determinó que el agua presenta contaminación después de ser tratada en las lagunas de oxidación, pues según los resultados del estudio de impacto ambiental realizado en el 2015, muestra coliformes totales y Sólidos Totales Disueltos superiores a los rangos permisibles de acuerdo a las normas ambientales del Ecuador referente al uso del agua para la agricultura. Por lo que observamos que el tratamiento no es eficiente.
- ✓ Se determinó que el humedal artificial estará ubicado en el sitio donde están las lagunas de oxidación de Rocafuerte, cumpliendo el sector con las características climáticas, topográficas y geográficas requeridas; además se estableció el caudal de diseño proyectado a 20 años y con este a la vez se diseñó las dimensiones del humedal artificial. En el mismo se va a utilizar la planta totora como medio depurante, ya que puede adaptarse perfectamente al lugar donde será implementado el humedal; además de su fácil adquisición. También se estableció el sustrato que permite el flujo del agua residual de manera uniforme en el sistema.
- ✓ Una vez terminado el estudio se estimó un costo total de \$1329830.32 en la implementación del pantano seco artificial para el tratamiento de las aguas residuales del cantón Rocafuerte.

## **Recomendaciones**

Culminado el estudio, se recomienda que:

Utilizar este tipo de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales de las comunidades rurales del cantón, las cuales, no cuentan con un sistema de alcantarillado sanitario, por lo tanto, no tienen ningún tipo de tratamiento sus aguas negras, representando un riesgo para la salud de sus habitantes y/o contaminando cuerpos de aguas dulces menores de los cuales depende otros tipos de vida.

Al momento de construir el humedal se recomienda, utilizar capacitación profesional para la revisión de los detalles hidráulicos para la captación del agua residual, construcción de la celda del humedal, y de igual manera la descarga del agua tratada.

Considerando el área superficial del humedal, se recomienda dividirla en varias secciones, para una mayor eficacia en la depuración del agua residual.

Se recomienda diseñar un plan de manejo, operación y mantenimiento del humedal artificial para sus óptimos funcionamientos.

## PARTE REFERENCIAL

### Presupuesto

<b>RECURSO</b>	<b>VALORES</b>
Uso de internet para la adquisición de material bibliográfico	• US \$ 100,00
Compra de libros	• US \$ 300,00
Capacitación técnica	• US \$ 300,00
Impresión de documentos	• US \$ 60,00
Fotocopias	• US \$ 60,00
Material de oficina	• US \$ 120,00
Transporte	• US \$ 220,00
Subtotal	• US \$ 1160,00
Imprevistos (10%)	• US \$ 116,00
<b>Total</b>	• US \$ 1276,00





## Bibliografía

- Campos Gómez, Irene. *SANEAMIENTO AMBIENTAL*. San José-Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, San José, 2003.
- Delgadillo, Oscar, Alan Camacho, Luis Péres, y Mauricio Andrade. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia: Nelson Antequera Durán, 2010.
- Esteve Selma, Miguel Ángel, Mercedes Lloréns Pascual del Riquelm, y Constantino Martínez Gallur. *Recursos Naturales de la Región de Murcia (Un Análisis Interdisciplinar)*. Murcia: Servicios de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 2003.
- García Gómez, César A. *Estudio de Impacto Ambiental " Operación y mantenimiento del alcantarillado sanitario de la ciudad de Rocafuerte, provincia de Manabí"*. Profesional, Rocafuerte: GAD, del cantón Rocafuerte, 2015.
- Glynn, Henry J., y Gary W. Heinke. *Ingeniería Ambiental*. Segunda. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1999.
- Ministerio del Ambiente. «Tulsmá.» *Tulsmá*. 11 de 04 de 2012. <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf> (último acceso: 6 de 02 de 2016).
- Moron Y Liminiana, Luis. *El estudiante de física y nociones de la química*. Granada: Imprenta de D. Francisco Ventura y Sabatel, 1868.
- Orozco Jaramillo, Alvaro. *Bioingeniería de aguas residuales*. Bogotá: ACODAL (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL), 2005.

Ramos Olmos, Raudel, Rubén Sepúlveda Maquéz, y Francisco Villalobos Moreto. *El agua en el medio ambiente (Muestreo y Análisis)*. MEXICO: PLAZA Y VALDÉS, S. A. DE C. V., 2003.

Roldán Pérez, Gabriel, y Jhon Jairo Ramírez Retrepo. *Fundamentos de limnología neotropical*. segunda. Antioquía-Colombia: Universidad de Antioquía, 2008.

Sánchez y Gándara, Arturo. *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. México: S y Geditores / INE-SEMARNAT, 2011.

USEPA. «United States Environmental Protection Agency.» *United States Environmental Protection Agency*. 11 de 06 de 2011. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/40001CXS.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991%20Thru%201994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQField> (último acceso: 03 de 02 de 2016).

## ANEXOS

### Observación de las Lagunas de Oxidación del cantón Rocafuerte

#### *Anexo. 1. Entrada de las aguas residuales a la Laguna de Aireación*



#### *Anexo. 2 Laguna de Aireación*



*Anexo. 3. Laguna Facultativa*



*Anexo. 4. Salida del agua de la Laguna facultativa*



*Anexo. 5. Laguna de Maduración*



**Lugar para la implementación del Pantano Seco**

*Anexo. 6. Área para la construcción del Pantano Seco*



*Anexo. 7. Vista Secundaria para la construcción del Pantano Seco*



**Planta a utilizar para el Humedal Artificial**

***Anexo. 8. Planta Totora de la laguna de Tabacales.***



***Anexo. 9. Planta Totora de la laguna de Tabacales***



## Tablas de resultados del estudio de impacta ambiental 2015

### Anexo. 10. Resultados del agua residual descargada por la laguna de maduración.

	<b>INFORME DE ENSAYOS</b> No. 42292-1	
---	--	---

#### GOBIERNO PROVINCIAL DE MANABI

Representante Legal: ZAMBRANO SEGOVIA MARIANO NICANOR

CORDOVA S/N Y OLMEDO Y RICALRTE

Portoviejo, Tel. 05 26384940/098682329

Guayaquil, 25 DE NOVIEMBRE DEL 2014

Atención: Ing. Leonardo Hidalgo

Tipo de Industria

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 13/11/2014 13:20 Provincia de Manabi - Rocafuerte  
 Fecha y Hora de Recepción: 13/11/2014 17:56  
 Punto e Identificación de la Muestra: Rocafuerte - Descarga de la laguna de maduración.  
 Norma Técnica de muestreo: PG-GQM-09 AGUAS  
 Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL  
 Muestreado por: GRUPO QUÍMICO MARCOS C. LTDA  
 Muestreador: LB-CG  
 Tipo de Muestreo: Simple  
 Coordenadas Geográficas: 17M0553246 - 9897989

GRUPO QUÍMICO MARCOS C. LTDA  
 LA ASISTENCIA DE ESTE SECCIONARIAL DEL  
 ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS  
 MC2001-09



LMP de acuerdo a la Norma: TUSMA TOMO V TABLA 7 PARAMETROS DE LOS NIVELES GUIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Analizado
<b>AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:</b>						
Conductividad Eléctrica	7800,0	1326,00	us/cm	0,7 - 3,0	PEE-GQM-FQ-13	13/11/2014 JV
Turbidez	24,60	1,72	NTU	-----	PEE-GQM-FQ-25	13/11/2014 KV
Dureza total	1246,0	162,0	mgCO3Ca/l	-----	PEE-GQM-FQ-26	14/11/2014 KV
Sólidos Suspendidos Totales	65	12	mg/l	-----	PEE-GQM-FQ-06	14/11/2014 ER
Sólidos Disueltos Totales	4090	179,96	mg/l	450 - 2000	PEE-GQM-FQ-23	13/11/2014 JV

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Analizado
<b>INORGANICOS NO METALES:</b>						
Potencial de Hidrogeno	8,25	0,08	-	6,50 - 8,40	PEE-GQM-FQ-01	12/11/2014 IV
Cloruros	1390,29	139,03	mg/l	3,00 - 10,00	PEE-GQM-FQ-08	14/11/2014 KV
Nitratos (3)	1,33	0,17	mg/l	-----	PEE-GQM-FQ-10	13/11/2014 AM
Nitritos	0,033	0,003	mg/l	-----	PEE-GQM-FQ-14	13/11/2014 AM
Sulfatos	123,6	10,50	mg/l	-----	PEE-GQM-FQ-28	13/11/2014 JV



**Anexo. 11. Resultados del agua residual descargada por la laguna de maduración. (Continuación)**

	<b>INFORME DE ENSAYOS</b> No. 42292-1	
---	--	---

Guayaquil, 25 DE NOVIEMBRE DEL 2014

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 12/11/2014 13:20 Provincia de Manabí - Rocafuerte  
 Fecha y Hora de Recepción: 12/11/2014 17:56  
 Punto e Identificación de la Muestra: Rocafuerte - Descarga de la laguna de maduración.  
 Norma Técnica de muestreo: PG-GQM-09 AGUAS  
 Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL  
 Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA  
 Muestreador: LB-CG  
 Tipo de Muestreo: Simple  
 Coordenadas Geográficas: 17M0553246 - 9897989

LMP de acuerdo a la Norma: TUSMA TOMO V TABLA 7 PARAMETROS DE LOS NIVELES GUIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Análisis
<b>METALES:</b>						
Aluminio (3)	< 0,0362	---	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	18/11/2014 IV
Cromo total (3)	0,0249	0,0070	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	18/11/2014 IV
Cobre (3)	0,0209	0,0059	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	18/11/2014 IV
Hierro (3)	< 0,0047	---	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	18/11/2014 IV
Zinc	0,0729	0,0102	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	18/11/2014 IV

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Análisis
<b>AGREGADOS ORGANICOS:</b>						
Tensoactivos-Detergentes (1)	0,10	0,02	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-21	13/11/2014 KV
Aceites y Grasas (3)	< 0,44	---	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-03	20/11/2014 ER
Demanda Bioquímica de Oxígeno	250	4,48	mgO <sub>2</sub> /l	---	PEE-GQM-FQ-05	13/11/2014 AL
Demanda Química de Oxígeno	107	12	mgO <sub>2</sub> /l	---	PEE-GQM-FQ-16	13/11/2014 AL
Fenoles (3)	< 0,023	---	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-20	13/11/2014 KV
Hidrocarburos Totales de Petróleo (3)	< 0,04	---	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-07	21/11/2014 ER



**Anexo. 12. Resultados del agua residual descargada por la laguna de maduración. (Continuación)**

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.  
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.  
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule  
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653  
www.grupoquimicomarcos.com  
Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Página 2 de 3

	<b>INFORME DE ENSAYOS</b> No. 42292-1	
---	--	---

Guayaquil, 26 DE NOVIEMBRE DEL 2014

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 12/11/2014 13:20 Provincia de Manabí - Rocafuerte  
Fecha y Hora de Recepción: 12/11/2014 17:56  
Punto e Identificación de la Muestra: Rocafuerte - Descarga de la laguna de maduración.  
Norma Técnica de muestreo: PG-GQM-09 AGUAS  
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL  
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA  
Muestreador: LB-CG  
Tipo de Muestreo: Simple  
Coordenadas Geográficas: 17M0553246 - 9897989

GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA  
LA FALTA DE ESTE SELLO INVALIDA EL  
ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS  
MC2201-07

LMP de acuerdo a la Norma: TULSMA TOMO V TABLA 7 PARAMETROS DE LOS NIVELES GUIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Analizado
<b>MICROBIOLOGIA:</b>						
Coliformes Fecales-NMP (1)	1000,0	---	NMP/100 ml	-----	PEE-GQM-FQ-38	12/11/2014 KV
Coliformes Totales-NMP (1)	119800,0	---	NMP/100 ml	-----	PEE-GQM-FQ-38	12/11/2014 KV
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Analizado
<b>DATOS DE MUESTREO:</b>						
Temperatura insitu	27,4	0,9	oC	-----	PEE-GQM-FQ-02	12/11/2014 LB

## GLOSARIO

**Grosso modo.-** De una manera imperfecta, poco más o menos.

**Vertimiento.-** descarga de cualquier cantidad de material o sustancias ofensivas a la salud pública.

**Bahías.-** Parte de mar que entra en la tierra formando una concavidad amplia y que puede servir de refugio a las embarcaciones

**Autodepuración.-** Es el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad.

**Aguas negras.-** Se llama aguas negras a aquel tipo de agua que se encuentra contaminada con sustancia fecal y orina, que justamente proceden de los desechos orgánicos tanto de animales como de los humanos.

**Alcantarilla.-** Abertura situada en el suelo de la calle y a menudo cubierta por una rejilla, por donde se sumen el agua de la lluvia y las aguas residuales que van a las alcantarillas o cloacas

**Prados.-** es una tierra llana o de relieve suave, húmeda o de regadío, en la cual crece la hierba con el fin de generar pasto para el ganado y forraje para conservar, cuando hay producción sobrante.

**Pluviales.-** De la lluvia o relacionado con ella.

**Degradación.-** Es un proceso cuyo desarrollo implica la pérdida de recursos naturales

**Tenso-activos.-** son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases

**Protistas.-** Reino al que pertenecen los organismos eucariotas unicelulares o pluricelulares muy sencillos sin tejidos diferenciados

**Fito-depuración.-** Es un sistema de depuración de las aguas residuales, basado en la utilización de humedales artificiales en los que se desarrollan plantas acuáticas (hidrofitos) que contribuyen activamente a la eliminación de los contaminantes, principalmente la materia orgánica. Son sistemas muy baratos en la inversión inicial y en el mantenimiento.

**Escorrentía.-** Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

**Enraizamiento.-** Acción de enraizar o enraizarse.

**Ciprés.-** Árbol de tronco recto, ramas erguidas que forman una copa espesa y cónica, hojas menudas y persistentes y fruto en forma de piña pequeña y globosa, con escamas leñosas, que tarda dos años en madurar; la madera es rojiza y olorosa y se emplea en construcciones y en ebanistería.

**Cativales.-** esta especie de árboles, muy característica de lugares húmedos e inundados la mayor parte del año presentan en promedio una altura de 40 metros y un diámetro alrededor de 2 metros

**Perifiton.-** Es el complejo conjunto de organismos de bacterias, hongos, algas y protozoos embebidos en una matriz polisacárida

**Detritos.-** es el resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas.

**Promisorios.-** Es algo que acarrea o representa una promesa.

**Geomorfología.-** Es una rama de la geografía física y de la geología que tiene como objeto el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y su actual comportamiento.

**Planimétricos.-** parte de la topografía dedicada al estudio de los procedimientos y los métodos que se ponen en marcha para lograr representar a **escala** los detalles de un terreno sobre una superficie plana.

**Altimetría.-** es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o "cota" de cada punto respecto de un plano de referencia. Con la altimetría se consigue representar el relieve del terreno, (planos de curvas de nivel, perfiles, etc.).