



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN**  
**ALIMENTOS**

**CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA**

---

**“INNOVACIÓN BIOLÓGICA PARA LA  
DEPURACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA  
ESTACIÓN “EL PERAL”, EMAPA-AMBATO”**

---

Trabajo de Investigación (Graduación), Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI), presentado como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniera Bioquímica, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Autor: Liliana Lucia Fiallos Núñez

Tutor: Dr. Ing. Ramiro Velasteguí Sánchez, Ph.D.

**AMBATO – ECUADOR**

**2011**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación (Graduación) sobre el tema:

**“INNOVACIÓN BIOLÓGICA PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA ESTACIÓN “EL PERAL”, EMAPA-AMBATO”**, elaborado por Liliana Lucía Fiallos Núñez, egresada de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo fue realizado por la persona indicada, en la planta de tratamiento de agua residual “El Peral” de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato.

Considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Agosto del 2011

**EL TUTOR**

.....

**Dr. Ing. Ramiro Velasteguí, Ph.D.**

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación: **“INNOVACIÓN BIOLÓGICA PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA ESTACIÓN “EL PERAL”, EMAPA-AMBATO”**, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Ambato, agosto del 2011

.....  
**LILIANA LUCIA FIALLOS NUÑEZ**

CI: 180413835-0

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS E INGENIERÍA**  
**BIOQUÍMICA**

Los miembros del Tribunal de Grado de conformidad con las disposiciones reglamentarias vigentes en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, aprueban el presente Trabajo de Investigación bajo el tema **“INNOVACIÓN BIOLÓGICA PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA ESTACIÓN “EL PERAL”, EMAPA-AMBATO”**

Ambato, Agosto del 2011

Para constancia firman:

---

**Ing. Rommel Rivera**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**Ing. Edwin Santamaría**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**Ing. Fernando Álvarez**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

*Bedicatoria*

*A mis padres Bolívar y Magdalena por su  
confianza y cariño*

*A mis hermanos Wilson, Mauricio y Abigail por  
todas las vivencias y el cariño que nos unen.*

*A mi esposo Mauricio y mi hijo Bryan Nicolás  
por su inmenso amor, comprensión y apoyo.*

*A todas las personas que han creído en mí.*

**Miliana Lucia Fiallos Núñez**

## **Agradecimiento**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres por su inmenso amor, comprensión y apoyo a largo de toda mi vida y porque con cada palabra me dan la fuerza para seguir adelante*

*A mi esposo Mauricio y mi hijo Bryan Nicolás por ser mi fortaleza y hacerme la vida más alegre.*

*A mis hermanos Wilson, Mauricio y Abigail por su afecto y consideración*

*Agradecimiento especial a mi Tutor de Tesis Dr. Ing. Ramiro Velasteguí por su paciencia y constante asesoramiento y colaboración.*

*A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica por la formación académica.*

*A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA), en especial a la Dra. Jannet Díaz, Ing. Katherine Velasteguí e Ing. Paul Acurio por que con su soporte técnico y humano han contribuido en la ejecución del presente trabajo investigativo. Gracias por la ayuda y confianza en mi depositada.*

*Agradezco a todos aquellos que con su amor y apoyo incondicional contribuyeron a la culminación de mi carrera profesional; a Dios porque me bendijo dándome la oportunidad de aprender, mejorar y crecer junto a personas muy especiales,*

*A todos quienes fueron parte de este sueño que se hace realidad.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Aprobación por el Tutor	II
Autoría del Trabajo	III
Aprobación del Tribunal de Grado	IV
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice General de Contenidos	VII
Índice de Anexos	XII
Resumen ejecutivo	XVIII

### CAPITULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 Tema de investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización macro, meso y micro	2
1.2.2 Análisis crítico	5
1.2.3 Prognosis	6
1.2.4 Formulación del problema	6
1.2.5 Preguntas directrices	7
1.2.6 Delimitación	
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos	10
1.4.1 General	10
1.4.2 Específicos	10

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO**

2.1 Antecedentes investigativos	11
2.2 Fundamentación Filosófica	12
2.3 Fundamentación Legal	13
2.3.1 Límites Permisibles de Contaminación, según TULAS	16
2.4 Categorías fundamentales	18
2.4.1 Variable Independiente	19
2.4.1.1 Estación "El Peral"	19
2.4.1.2 Estanque vegetal	21
2.4.1.3 Innovación Biológica	23
2.4.2 Variable Dependiente	25
2.4.2.1 Contaminación del agua	25
2.4.2.2 Fitorremediación	29
2.4.2.3 Parámetros para determinar la calidad del agua	29
2.5 Hipótesis	39
2.5.1 Hipótesis Nula	39
2.5.2 Hipótesis Estadística	39
2.6 Señalamiento de variables	39

**CAPITULO III**  
**METODOLOGIA**

3.1 Enfoque	40
3.2 Modalidad básica de la investigación	40
3.3 Nivel o tipo de investigación	40
3.4 Población y muestra	41
3.5 Operalización de variables	42
3.5.1 Variable Independiente	42
3.5.2 Variable Dependiente	43



3.6 Recolección de Información	44
3.6.1 Técnica de recolección de datos	44
3.6.2 Materiales y método	44
3.6.3 Método	49
3.6.3.1 Diseño experimental	49
3.6.3.2 Análisis Físico - Químico	51
3.6.3.3 Análisis Microbiológico	61
3.7 Procesamiento y análisis	63

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Análisis de los Resultados	64
4.1.1 Temperatura	65
4.1.2 Potencial Hidrógeno	66
4.1.3 Conductividad	67
4.1.4 Sólidos totales disueltos	68
4.1.5 Demanda Química de Oxígeno	69
4.1.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno	70
4.1.7 Detergentes	72
4.1.1 Índice de Coliformes Fecales	73
4.1.1 Índice de Coliformes Totales	74
4.1.8 Nitrógeno Total	74
4.1.9 Fósforo Total	75
4.1.10 Color	76

4.1.11 Olor	76
4.2 Interpretación de resultados	77
4.3 Verificación de la Hipótesis	78

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones	80
5.2 Recomendaciones	84

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

6.1 Datos Informativos	86
6.2 Antecedentes de la propuesta	87
6.3 Justificación	88
6.4 Objetivos	90
6.4.1 General	90
6.4.2 Específicos	91
6.5 Análisis de Factibilidad	91
6.6 Fundamentación	92
6.7 Metodología. Modelo Operativo	97
6.8 Administración	98
6.9 Previsión de la Evaluación	98
Bibliografía	99
ANEXOS	106

## **ANEXO A**

### **TABLAS DE RESULTADOS**

**Tabla A-1** Resultados de los análisis en la primera etapa con lechuguín.

**Tabla A-2** Resultados de los análisis en la primera etapa con carrizo.

**Tabla A-3** Resultados de los análisis en la segunda etapa con lechuguín.

**Tabla A-4** Resultados de los análisis en la segunda etapa con carrizo.

**Tabla A-5** Estudio Económico del sistema de depuración empleado.

## **ANEXO B**

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

**Tabla B-1** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de temperatura del agua servidas.

**Tabla B-2** Análisis de Varianza (ANOVA) para la temperatura del agua servida.

**Tabla B-3** Prueba de TUKEY al 5% para la temperatura del agua servida con factor B.

**Tabla B-4** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Potencial Hidrogeno del agua servidas.

**Tabla B-5** Análisis de Varianza (ANOVA) para el potencial hidrogeno del agua servida.

**Tabla B-6** Prueba de TUKEY al 5% para el potencial hidrogeno del agua servida.

**Tabla B-7** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Conductividad del agua servida.

**Tabla B-8** Análisis de Varianza (ANOVA) para la Conductividad del agua servida.

**Tabla B-9** Prueba de TUKEY al 5% para la Conductividad del agua servida.

**Tabla B-10** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Sólidos Disueltos Totales del agua servida.

**Tabla B-11** Análisis de Varianza (ANOVA) para Sólidos Disueltos Totales del agua servida.

**Tabla B-12** Prueba de TUKEY al 5% para Sólidos Disueltos Totales del agua servida.

**Tabla B-13** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno del agua servida.

**Tabla B-14** Análisis de Varianza (ANOVA) para la Demanda Química de Oxígeno del agua servida.

**Tabla B-15** Prueba de TUKEY al 5% para la Demanda Química de Oxígeno del agua servida.

**Tabla B-16** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua servida.

**Tabla B-17** Análisis de Varianza (ANOVA) para la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua servida.

**Tabla B-18** Prueba de TUKEY al 5% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua servida.

**Tabla B-19** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Detergentes del agua servida.

**Tabla B-20** Análisis de Varianza (ANOVA) para Detergentes del agua servida.

**Tabla B-21** Prueba de TUKEY al 5% para Detergentes del agua servida.

**Tabla B-22** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación del Índice de Coliformes Totales del agua servida.

**Tabla B-23** Análisis de Varianza (ANOVA) para el Índice de Coliformes Totales del agua servida.

**Tabla B-24** Prueba de TUKEY al 5% para el Índice de Coliformes Totales del agua servida.

**Tabla B-25** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación del Índice de Coliformes Fecales del agua servida.

**Tabla B-26** Análisis de Varianza (ANOVA) para el Índice de Coliformes Fecales del agua servida.

**Tabla B-27** Prueba de TUKEY al 5% para el Índice de Coliformes Fecales del agua servida.

**Tabla B-28** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Nitrógeno Total del agua servida.

**Tabla B-29** Análisis de Varianza (ANOVA) para el Nitrógeno Total del agua servida.

**Tabla B-30** Prueba de TUKEY al 5% para el Nitrógeno Total del agua servida.

**Tabla B-31** Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Fosforo Total del agua servida.

**Tabla B-32** Análisis de Varianza (ANOVA) para Fosforo Total del agua servida.

**Tabla B-33** Prueba de TUKEY al 5% para Fosforo Total del agua servida.

## **ANEXO C**

### **GRÁFICAS**

**Gráfico C-1.** Datos de Temperatura cada 10 días, durante la primera etapa de evaluación del agua residual.

**Gráfico C-2.** Datos de Temperatura, durante la segunda etapa de evaluación.

**Gráfico C-3.** Datos de potencial hidrógeno cada 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación del agua servida en los dos estanques.

**Gráfico C-4.** Valores de Potencial Hidrógeno del agua reportados durante la segunda etapa de monitoreo.

**Gráfico C-5.** Valores de conductividad del agua en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación en los dos estanques.

**Gráfico C-6.** Valores de conductividad del agua en, durante la segunda etapa de fitorremediación del agua contaminada.

**Gráfico C-7.** Datos de sólidos disueltos totales en agua de los dos estanques, (lechuguín y carrizo), cada 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-8.** Variación de los valores de sólidos disueltos totales del agua, durante la segunda etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-9.** Datos de Demanda química de oxígeno del agua residual de los estanques vegetales, en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-10.** Valores de DQO del agua comparados con el valor máximo permisible, durante la segunda etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-11.** Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno en agua residual durante la primera etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-12.** Variación de los valores de DBO durante la segunda etapa de monitoreo, comparado con el valor permisible según TULAS

**Gráfico C-13.** Valores de concentración de detergentes, obtenidos durante la primera etapa de monitoreo del agua servida sometida a fitorremediación.

**Gráfico C-14.** Valores de concentración de detergentes en agua sometida a fitorremediación con dos tipos de vegetales durante la segunda etapa.

**Gráfico C-15.** Datos de Índice de Coliformes Totales del agua en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-16.** Índice de Coliformes totales en agua de dos estanques con sistema de fitorremediación, comparados con el valor máximo permisible durante la segunda etapa de evaluación.

**Gráfico C-17.** Índice de Coliformes Fecales del agua en tratamiento con fitorremediación, durante la primera fase de investigación.

**Gráfico C-18.** Valores de índice de coliformes fecales en agua analizada durante la segunda etapa de fitorremediación.

**Gráfico C-19.** Valores de concentración de Nitrógeno del agua en periodos de 10 días, durante la primera fase de fitorremediación en los dos estanques.

**Gráfico C-20.** Concentración de Nitrógeno en agua analizada durante la segunda etapa de fitorremediación con lechuguín y carrizo.

**Gráfico C-21.** Valores de Fósforo en agua de los estanques en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación en los dos estanques.

**Gráfico C-22.** Concentración de Fósforo comparado con el valor máximo permisible según TULAS en agua contaminada, durante la segunda etapa de investigación.

## **ANEXO D**

### **IMÁGENES**

**Imagen D-1.** Planta de tratamiento de aguas residuales el Peral en mal estado previo a realizar la investigación.

**Imagen D-2.** Lecho de secado de lodos con maleza.

**Imagen D-3.** Fosa séptica colapsada por taponamiento en tubería anteriores debido al crecimiento abundante de maleza.

**Imagen D-4.** Exteriores de fosa séptica

**Imagen D-5.** Planta de tratamiento de aguas posterior dos fumigaciones

**Imagen D-6.** Construcción de caja de revisión

**Imagen D-7.** Vista interna de la caja de revisión

**Imagen D-8.** Estanques vegetales contruidos para fitorremediación, forrados con plástico de invernadero.

**Imagen D-9.** Llenado de estanque #1 con agua residual previa la colocación de lechuguín.

**Imagen D-10.** Relleno con tierra e el estanque #2 y posterior siembra de carrizo.

**Imagen D-11.** Crecimiento de lechuguín en estanque de fitorremediación.

**Imagen D-12.** Descomposición de carrizo en estanque.

**Imagen D-13.** Caja de filtro en malas condiciones.

**Imagen D-14.** Vista superior de la planta de Tratamiento de aguas residual El Peral durante el lavado de la caja de filtro.

**Imagen D-15** Lavado de las piedras de la caja de filtros.

**Imagen D-16.** Caja de filtro vacía, para cambio de material

**Imagen D-17.** Vaciado de los estanque, una vez terminada la primera etapa, para cambio de muestra.

**Imagen D-18.** Actual sistema de tratamiento en la estacion El Peral

**Imagen D-19** Innovacion Biologica Aplicada, (Fitorremediación)

**Imágen D-20.** Mapa de ubicacióndel sector de estudio

**Imagen D-21** Mapa del Sector La Delicia – Ambato

**Imagen D-22** Planimetria de distribucion de la planta de tratamiento de aguas servidas El Peral.



## RESUMEN EJECUTIVO

La estación de tratamiento de aguas servidas denominada “El Peral”, se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato en el sector de Ficoa–La Delicia y es uno de los lugares que dispone la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA), para la recepción y tratamiento de aguas contaminadas provenientes de aguas de uso doméstico. Estas aguas circulan por un sistema de tratamiento de sedimentación, filtración y pozo séptico para luego ser descargadas en el río Ambato. Estas aguas no cumplen con todas las características técnicas tanto microbiológicas como físico-químicas como para ser descargadas en un río por lo que están contribuyendo a la consiguiente contaminación ambiental.

El presente estudio titulado “Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación “El Peral”, EMAPA-Ambato”, tuvo como propósito fundamental mejorar las características de las aguas que pasan por la estación y desembocan al río Ambato, utilizando componentes biológicos alternativos y así cumplir con los valores permisibles según el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

La mencionada innovación consistió en dos estanques en los que se cultivaron por separado dos especies vegetales, el uno contuvo “lechuguín” (*Eichhornia crassipes* – Fam. Poaceae Gramíneas) y el otro “carrizo” (*Phragmites australis* – Fam. Pontederiaceae Pontederiáceas).

Para conocer las características de las aguas se analizó: pH, temperatura, conductividad, Sólidos disueltos totales, Demanda química de oxígeno(DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), detergentes, nitrógeno, fósforo, color, olor, coliformes totales y fecales. Las evaluaciones se ejecutaron en dos etapas de un mes cada una y con intervalos de 10 días

empleando un diseño experimental A x B con 2 repeticiones. Mediante la aplicación del programa estadístico Statgraphics Plus y pruebas de comparación de medias, se compararon las diferencias de las características físico-químicas y microbiológicas. Los resultados mostraron que existe diferencia estadística significativa en la mayoría de parámetros tales como DBO, DQO, sólidos disueltos totales, nitrógeno y fósforo, que constituían parte importante de la carga contaminante. Los resultados de los análisis se contrastaron con los límites máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente.

Al examinar los resultados obtenidos en la investigación se pudo evidenciar el decremento de la concentración de los contaminantes especialmente en el caso del estanque con “lechuguín” puesto que el vegetal se adaptó al medio sin problema, no así en el caso del estanque con “carrizo” que aunque disminuyó la carga contaminante, no tuvo un comportamiento estable debido probablemente al tipo y niveles de concentración de los contaminantes.

Se puede concluir que los dos vegetales empleados por separado son beneficiosos para la descontaminación de las aguas servidas que pasan por la Estación “El Peral”, EMAPA-Ambato y que constituyen alternativas de interés en casos similares.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1 Tema de investigación**

**“INNOVACIÓN BIOLÓGICA PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA ESTACIÓN “EL PERAL”, EMAPA-AMBATO”**

### **1.2 Planteamiento del problema**

La estación “El Peral”, es una planta de tratamiento de aguas contaminadas que recoge la mayor parte de caudal proveniente de lluvias, residuos domésticos y de ciertas industrias del sector de Ficoa. Estas descargas de aguas contaminadas se depositan en los drenajes, pasan a un proceso de tratamiento y posteriormente desembocan en el río Ambato; estas aguas no cumplen las características técnicas tanto microbiológicas como físico-químicas, para descargar al río, provocando seria contaminación ambiental.

La acumulación de aguas y el posterior desecho de las mismas hacia el río Ambato, provoca malos olores y destrucción de la fauna existente a lo largo de su cauce, lo cual afecta a la biodiversidad, al valioso recurso agua e incluso al ser humano.

### 1.2.1 Contextualización

En todos los países de la cuenca mediterránea y en muchos lugares de centro y Sudamérica se ha practicado desde hace siglos la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua de boca después de diversos vertidos. El conocimiento del riesgo asociado a estas prácticas propició por una parte la construcción de sistemas de alcantarillado (también se deben incluir aquí los perjuicios estéticos y sensoriales) que extraían de los núcleos de población las aguas usadas, y bastante posteriormente la construcción de depuradoras en los casos en que la sociedad es capaz de asumir este gasto (Ortega, 2002).

Con la aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, se generó una atención a un recurso cercano, concentrado y cuya calidad era relativamente constante y conocida: el agua residual. Por otra parte, es sobradamente reconocido que determinados vegetales regados con agua residual tienen un crecimiento excelente y una apariencia que permite su venta con buenos beneficios. Así, aguas abajo de los albañales de muchas ciudades, han aparecido a lo largo del tiempo explotaciones agrícolas de hortalizas, que se venden en los mercados de la misma ciudad donde se han generado las aguas residuales. Aparte de ser una forma de reciclar el agua, es también la mejor manera de mantener extraordinariamente prósperas las infecciones asociadas a las enfermedades de origen hídrico (Ortega, 2002).

Los países europeos han logrado aplicar tratamientos muy sofisticados para la depuración de aguas contaminadas, tratamientos químicos y biológicos, mientras los países tercermundistas no pueden cubrir con la demanda, la tecnología y los recursos no permiten ejecutar estos proyectos. El resultado del tratamiento inadecuado de las aguas residuales se ve en el aumento significativo de la mortalidad

particularmente en niños de países subdesarrollados, especialmente en los continentes de África y de Asia. En el año 2000, las Naciones Unidas ha establecido que el 44 por ciento de la población global tenían un tratamiento y disposición de las aguas residuales inadecuadas, pero en África y Asia aproximadamente la mitad de la población no tiene ningún acceso a los servicios del tratamiento de aguas residuales (Bustamante, 2007).

En Colombia y América Latina el problema de la contaminación de las fuentes de agua por el vertimiento de aguas residuales es cada vez mayor además de la baja cobertura en el tratamiento y el abandono de los sistemas implementados. Es prioritario entonces desarrollar metodologías encaminadas a aumentar la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y así mismo disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos de agua contaminada. (Villegas, 2009)

Las pequeñas comunidades enfrentan un problema mayor dado que sus condiciones socioculturales, económicas, ambientales y técnicas, limitan la implementación de alternativas de tratamiento altamente tecnificadas las cuales son usadas comúnmente en las grandes ciudades del país. Por esta razón se debe buscar alternativas de tratamiento de aguas residuales adaptables a las pequeñas comunidades que incluya un proceso de selección de tecnología que considere sus condiciones particulares (Villegas, 2009).

En el Ecuador el 65 por ciento del territorio ecuatoriano no cuenta con alcantarillado como tampoco con un sistema de tratamiento de aguas residuales. Por ello, el 95% de las aguas servidas que son devueltas a los ríos y mares no recibe tratamiento, afirma Álvaro Castillo Aguirre, presidente de la Asociación Nacional de Empresas Municipales de Agua Potable Alcantarillado (Anemapa). A esto se suma la degradación del suelo, el uso de pesticidas y otros químicos en las zonas agrícolas,

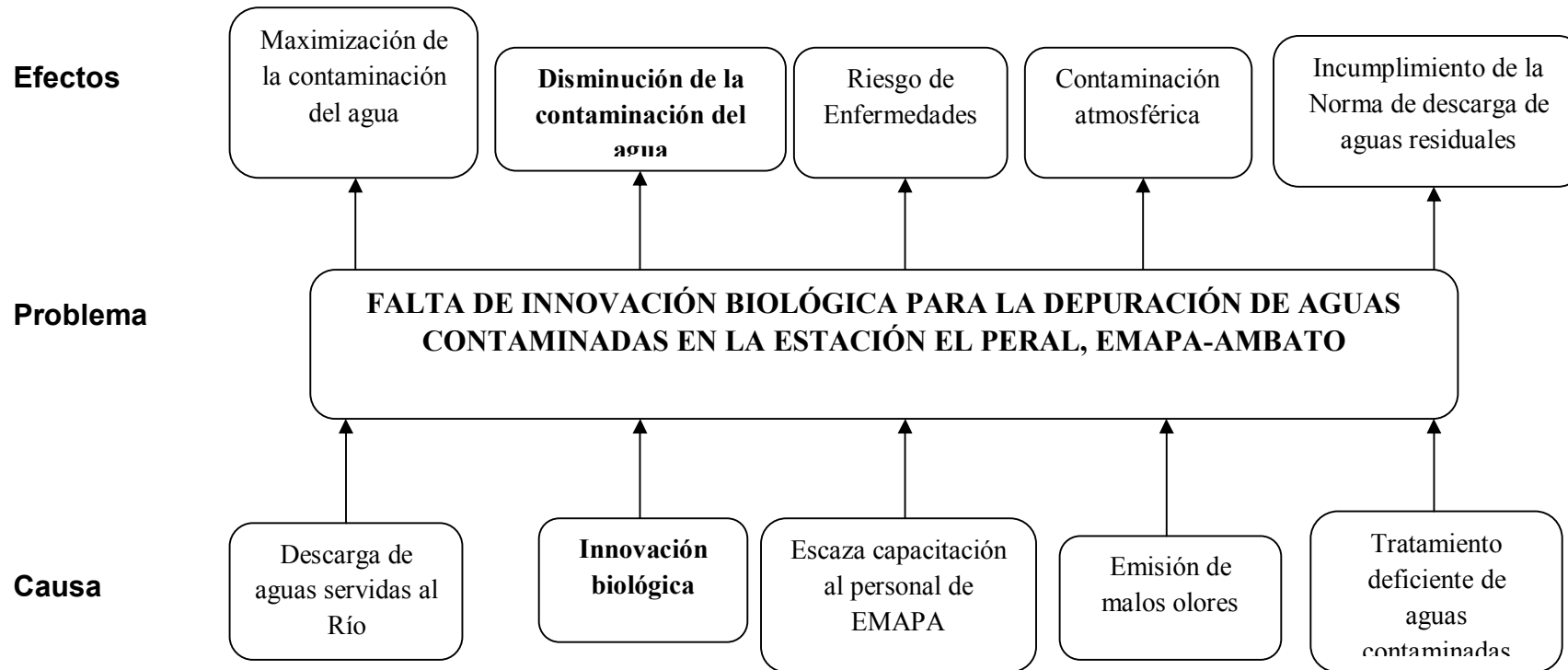
principalmente en la Sierra, que por efecto de la gravedad van a dar a las cuencas hidrográficas (Bustamante, 2007).

Los municipios han hecho muy poco por mejorar la calidad del agua de estos afluentes emblemáticos. La oficina del Ministerio del Ambiente para la región, ubicada en Ambato, tampoco tiene estudios sobre contaminación. De su superficie de 1 300 km<sup>2</sup>, el 20 por ciento está con serios problemas de contaminación. Las aguas contaminadas de la urbe son descargadas directamente en las quebradas de la ciudad. Este proceso causa una fuerte contaminación en las aguas las cuales presentan un color gris negruzco, olores pestilentes y ausencia de vida acuática. Un 30% de las alcantarillas de la urbe va al río Ambato (Bustamante, 2007).

La escasez cada vez mayor de las aguas dulces debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y probablemente a los cambios climáticos, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas. En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura, su uso no controlado generalmente está relacionado con impactos significativos sobre la salud humana. Estos impactos en la salud se pueden minimizar cuando se implementan buenas prácticas de manejo (Ferreiro, 1991).

## 1.2.2 Análisis crítico

Fig. 1 **Árbol de Problemas**



Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

El desconocimiento de innovaciones biológicas de bajo costo impide que se apliquen otras formas de depuración de aguas servidas a fin de disminuir la contaminación de los ríos.

La ausencia de un monitoreo del nivel de contaminación de las aguas que salen del sistema de depuración de la Estación “El Peral”, no permite dimensionar el peligro que desemboca en los ríos.

El poco interés que le ponen los directivos al tratamiento de las aguas recolectadas, se refleja en el descuido de las plantas, que a simple vista muestran altos niveles de contaminación.

La falta de una innovación biológica en el tratamiento de aguas esta ocasionando que se mantenga el sistema poco eficiente que permite que las aguas contaminadas pierdan sus características físicas y químicas, emanando olores desagradables, afectando la biodiversidad e imposibilitando el consumo humano.

### **1.2.3 Prognosis**

En caso de no realizarse la investigación del problema planteado, se mantendrá el mismo sistema de tratamiento de aguas, el nivel de contaminación de los ríos aumentará, se degenerará aún más las características físicas y químicas del agua, mayores olores desagradables que afectan negativamente a la biodiversidad e inclusive provocan daños en personas, animales y plantas.



#### **1.2.4 Formulación del problema**

Este trabajo de investigación está orientado a la innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas de la planta de tratamiento “El Peral”, EMAPA-Ambato para contribuir a resolver la problemática planteada.

¿Qué Innovación Biológica se puede aplicar para la depuración de Aguas Contaminadas en la Estación “El Peral”, EMAPA-Ambato?

#### **1.2.5 Preguntas directrices**

- ¿Cuáles son los componentes del sistema de tratamiento actual en la estación “El Peral”?
- ¿En qué etapa de tratamiento de aguas servidas actual se deberá incluir y aplicar componentes biológicos innovadores?
- ¿Cuál será la metodología para determinar la eficiencia del sistema propuesto?
- ¿Qué costo implicará aplicar esta metodología en el tratamiento de aguas contaminadas en la estación “El Peral”?

#### **1.2.6 Delimitación**

##### **1.2.6.1 Delimitación Científica**

Campo científico:	Ingeniería Ambiental.
Área:	Ciencias Ambientales
Sub-área:	Tratamiento biológico.
Sector:	Aguas servidas.
Sub-sector:	Depuración biológica de aguas contaminadas.

### **1.2.6.2 Delimitación Tiempo – Espacial**

La presente investigación se realizará en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato, Estación El Peral , Sector Ficoa - La Delicia, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, en el período comprendido entre Enero – Agosto , 2011.

## **1.3 Justificación**

Las aguas contaminadas recolectadas por el sistema de alcantarillado en el sector de Ficoa de la ciudad de Ambato, son descargadas en forma directa y otras luego de un tratamiento simple pues solo una parte del caudal total de esta agua entran a la planta de tratamiento “El Peral”, en donde pasan por un proceso de decantación, sedimentación y filtración previa su descarga al río Ambato. En los actuales momentos constituyen un verdadero foco de contaminación, las causas son la presencia de bacterias que se producen en las heces fecales además de metales pesados. Eso también puede estar generando contaminación a los productos agrícolas y a su vez traspasada a animales, plantas y finalmente al ser humano.

“La Organización Mundial de la Salud estima que cada año se presentan 500 millones de casos de diarreas en niños menores de cinco años en Asia, África y América Latina. Entre 3 y 4 % de estos casos terminan con la muerte. Estas enfermedades son el resultado de la pobreza, la ignorancia, la desnutrición y sobre todo de un saneamiento ambiental deficiente, particularmente de inadecuados sistemas de abastecimiento de agua y de disposición de excretas” (Díaz, 2008).

Los problemas generados por la contaminación de los recursos hídricos son serios y preocupantes, que permiten afirmar que el sector agua-saneamiento está en crisis.

Para encarar el problema, es importante ampliar la capacidad de tratamiento de las aguas contaminadas y se deberá hacer un mejor uso de la capacidad natural de dilución y de autopurificación de los ríos. El interés en esta investigación es debido a que en el uso del agua doméstica se maneja una gran cantidad de productos químicos y se efectúan diversas prácticas que conllevan la generación de residuos. En la mayoría de los casos estos residuos son peligrosos para la salud y el medio ambiente. Aunque el volumen de residuos que se generan del agua doméstica es generalmente pequeño en relación al proveniente del sector industrial, no por ello se debe minimizar el problema (Bustamante, 2007).

El desinterés o apatía ha llevado a que se olvide que hay que cuidar y preservar medio ambiente, es por ello que se aspira contribuir con una innovación biológica para depurar las aguas servidas de la Estación “El Peral” que mitigue el avance de esta contaminación, mediante una modificación al sistema actual.

Los beneficiarios con esta investigación son: la empresa EMAPA, puesto que será reconocido su trabajo en beneficio de la comunidad y las familias asentadas en el trayecto del río Ambato porque dispondrán de aguas menos contaminadas.

La investigación es factible porque se dispone de la colaboración de los directivos de EMAPA así como la disponibilidad de área para la aplicación de la innovación biológica propuesta.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Ejecutar una innovación biológica para la depuración de las aguas contaminadas en la Estación “El Peral”, EMAPA-Ambato.

### **1.4.2 Específicos**

- 1.4.2.1 Detallar los componentes actuales del sistema de depuración utilizado en la Estación El Peral de EMAPA, Ambato.
- 1.4.2.2 Efectuar el rediseño del sistema con componentes innovadores de depuración biológica e implementarlo.
- 1.4.2.3 Evaluar el funcionamiento del sistema de depuración propuesto.
- 1.4.2.4 Realizar un estudio económico del sistema de depuración empleado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes investigativos

En Guatemala cada año se producen 380 millones de metros cúbicos de aguas negras y de ellos, sólo 19 millones son tratados. El resto llega con toda su carga contaminante a los ríos y lagos.

Investigadores de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y del Museo De Ciencias Naturales «Bernardino Rivadavia» proponen el empleo de una tecnología alternativa conocida como fitorremediación para la descontaminación de cursos de agua. La capacidad depuradora de un junco acuático que absorbe metales pesados como el zinc fue ensayado con éxito en lodos obtenidos en el Riachuelo y en un basural a cielo abierto (Mazzeo, 2006).

En la ciudad de Nueva Loja en el Campo Lago Agrio de la Empresa Estatal de Petróleos y su filial Petroproducción realiza análisis de aguas y suelos en el Laboratorio de Protección Ambiental con la finalidad de determinar la contaminación existente para sugerir un proceso de biorremediación. Se ha realizado un ensayo de laboratorio para conocer la capacidad de las plantas acuáticas del sector para crecer en medios contaminados. Las especies *Eleocharis geniculata*, *Eichornia crassipes* y *Setaria parviflora* se adaptan y desarrollan en aguas contaminadas y acumulan en sus estructuras metales pesados. La caracterización de las aguas residuales demuestra que la misma se encontraba muy contaminada, pero luego de un proceso de fitorremediación mejora su calidad. Los parámetros que mayor porcentaje de reducción tuvieron al final del estudio fueron: DQO con 98,26%, DBO con 94,69% y Cadmio

con un 90% de reducción. Los parámetros OD 74,23% y Potasio 28% aumentaron su concentración y el parámetro pH con 24,94% tiene el porcentaje inferior en relación al resto de parámetros. La cuantificación de temperatura permanece constante en 26°C, que es la temperatura promedio de Lago Agrio (Tapia, 2009).

## **2.2 Fundamentación Filosófica**

El término Paradigma significa “el modo en el que vemos el mundo”. Los paradigmas contienen reglas y regulaciones que hace establecer o definir fronteras, dicen como comportarse dentro de esas fronteras.

Uno de los paradigmas más conocidos y que se aplicó en la presente investigación es el Crítico propositivo porque critica la situación del problema planteado que es el sistema de tratamiento de aguas contaminadas e identifica el potencial de cambio, emancipación de los sujetos, a partir del análisis de la realidad; a fin de proponer una innovación biológica que permita disminuir el nivel de contaminación. Es decir evidenciando que la práctica es teoría en acción (Lara y Piedra, 2009).

Se aplicó la fundamentación epistemológica, con una perspectiva unificada del conocimiento cualitativo y cuantitativo, consistente con el estado actual en que se halla las innovaciones biológicas y la contaminación de aguas.

Las dos fundamentaciones son necesarias para tener una percepción más clara de la realidad, lo que permite interpretar los resultados para describir la realidad, los fenómenos en su contexto, criticarlos y proponer innovaciones biológicas en base al conocimiento adquirido.

## **2.3 Fundamentación Legal**

La Constitución Política de la República del Ecuador, reconoce a las personas, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación; declara de interés público la preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país; establece un sistema nacional de áreas naturales protegidas y de esta manera garantiza un desarrollo sustentable. (Falquez, 2006)

Debido a las regulaciones establecidas en la Ley para la Protección del Medioambiente, las empresas están realizando grandes inversiones con el fin de reducir los impactos de sus operaciones en el país, especialmente en el sector de Tungurahua.

De acuerdo con el artículo 16 de la Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental vigente, "queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos para la salud humana, a la fauna y a las propiedades".

### **Norma ISO 14001**

Es una Norma Internacional de aplicación voluntaria, que establece los requisitos que debe cumplir una organización para gestionar la prevención de la contaminación y el control de las actividades, productos y procesos que causan o podrían causar impactos sobre el medio ambiente y además, para demostrar su coherencia en cuanto al cumplimiento de su compromiso fundamental de protección y respeto por el medio ambiente (INEN, 2010).

## **Leyes, Normas y Legislación aplicable**

La actual Constitución Política del Estado, aprobada bajo referéndum nacional el 28 de septiembre de 2008, y puesta en vigencia bajo Registro Oficial desde el 20 de Octubre, considera dentro de su contexto varios artículos que hacen referencia hacia el cuidado, preservación y conservación, del medio ambiente y al uso racional de los recursos naturales.

**Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible y esencial para la vida.

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Lara y Piedra, 2009).

### **Ley de Gestión Ambiental (LGA)**

La ley de Gestión Ambiental rige desde el 30 de julio de 1999, emitida bajo registro oficial N° 245 de 30 de julio de 1999, y establece normas básicas para la aplicación de políticas ambientales así como un esquema de administración ambiental por parte del estado a través de un manejo horizontal presidido por el ministerio del ambiente y conformado por todos los ministerios e instituciones del estado con competencia ambiental (Lara y Piedra, 2009).



## - Ley de Aguas

Esta Ley, emitida bajo Decreto Supremo N° 369, RO/69 de 30 mayo de 1972, regula el aprovechamiento de las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos y formas. La limitación y regulación del uso de aguas a los titulares de un derecho de aprovechamiento, corresponden al Consejo Nacional de Recursos Hídricos (INEN, 2010).

Los **Art. 20, 21 y 22** se refieren a la conservación y a la prevención de la contaminación del agua. Según el Art. 3 del Derecho Ejecutivo N° 2224, La actual norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (INEN, 2010).

### **Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS)**

La gestión ambiental es responsabilidad de todos y la coordinación esta a cargo del Ministerio del Ambiente, a fin de asegurar una coherencia nacional, entre las entidades del sector publico y el sector privado en el Ecuador, sin perjuicio de que cada una deberá atender al área específica que le corresponde, dentro del marco de la política ambiental.

Esta unificación de legislación ambiental perdigue identificas las políticas y estrategias específicas y guías necesarias a fin de asegurar por parte de todos una adecuada gestión ambiental permanente, dirigida a alcanzar el desarrollo sustentable.

**Tabla 1.** Límites Permisibles de Contaminación de Efluentes de Aguas dulces, según TULAS

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
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-	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl-	mg/l	1000,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	250,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0

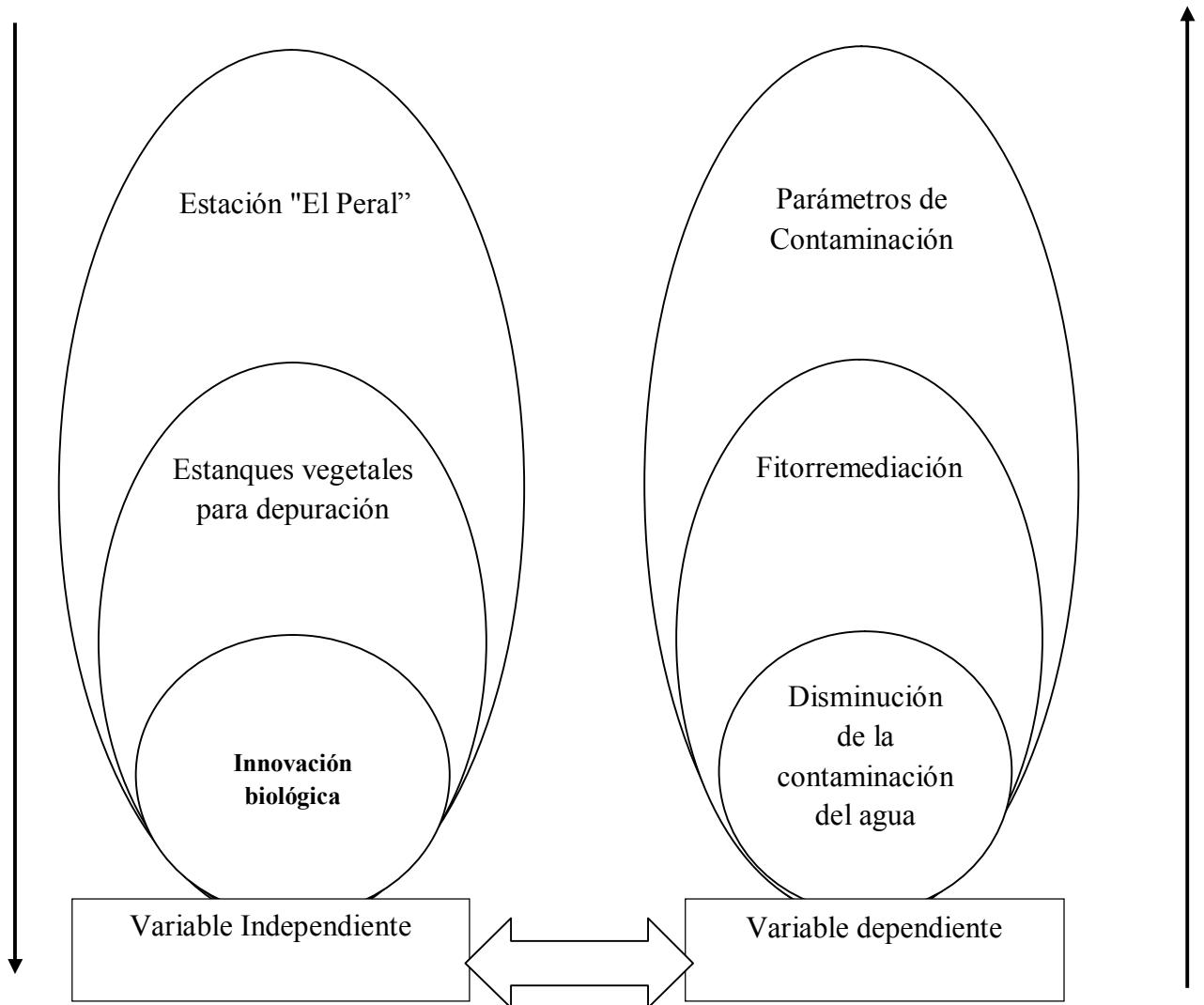
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15,0
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
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		mg/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100,0
Sólidos totales		mg/l	1600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> =	mg/l	1000,0
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C	mg/l	< 35,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono		1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno		1,0
Vanadio			5,0
Zinc	Zn		5,0

**Fuente:** Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), 2010

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

## 2.4 Categorías fundamentales

Fig. 2. Red de Inclusión



Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

## **2.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

### **2.4.1.1 La Estación “El Peral”**

La estación “El Peral”, es una planta de tratamiento de aguas contaminadas que recoge la mayor parte de caudal proveniente de aguas servidas de uso doméstico y de ciertas industrias del sector de Ficoa.

Una planta de tratamiento es una instalación donde a las Aguas servidas se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (Mar, ríos o lagos) o por su rehusó en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (No para ingerir o aseo personal) (Martínez, 2009).

- *Desarenador:*

El desarenador es una estructura hidráulica que tiene como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas Tiene como objetivo eliminar las partículas más pesadas que el agua, y que tienen un tamaño superior a 200 micras, sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, palos, etc. Con este proceso se consiguen proteger los procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas (Martínez, 2009).

- *Tratamiento anaerobio (Tanque séptico):*

Un tanque séptico es aquella fosa que recibe y trata las aguas servidas. En esta fosa la parte sólida de las aguas servidas es separada por un proceso de sedimentación, y a través del denominado “proceso séptico” se estabiliza la materia orgánica de esta agua para lograr transformarla en un barro inofensivo. Por lo general, un tanque séptico se construye a partir de una gran caja de forma rectangular, que posee uno o más compartimientos que se encargan de recibir los excrementos y las aguas grises. Lo más común es que estos tanques se encuentren enterrados y cubiertos por una capa de concreto. Debido a que estas fosas poseen una concentración altísima de material orgánico y organismos patógenos (que pueden ser causantes de diversas enfermedades e infecciones), es necesario que sean herméticos, duraderos y de estructura muy estable. Debido a lo anterior, los materiales que se utilizan para su construcción suelen ser el concreto reforzado. Sin embargo, es necesario que cuenten con una tapa a través de la cual se puedan realizar tareas de inspección y vaciado (Landaverde, 2009).

- *Filtración:*

El funcionamiento de un sistema de filtros es simple, esta compuesto por un material que ofrece gran cantidad de superficie en un volumen reducido. El agua circula a través del material de relleno del filtro (piedras, ripio, y arena), y las pequeñas partículas que contiene al momento el agua se adhieren a la superficie de las piedras, ripio y finalmente a la arena en el orden mencionado ya que pasan inicialmente por el material de mayor superficie con el propósito de retener primero las partículas mas grandes y aquellas partículas que pudieron pasar serán retenidas en los materiales posteriores y de forma ascendente así el agua que llegue a la superficie será la que haya pasado por las tres capas del filtro biológico.

### **2.4.1.2 Estanques vegetales para depuración**

Los sistemas que utilizan plantas macrofitas acuáticas se basan en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. Aunque realizan normalmente tratamientos terciarios del agua que reciben, pueden incluso llegar a realizar tratamientos secundarios. Las propias plantas suministran el oxígeno al proceso de depuración que se realiza en el sistema radicular. Las propias plantas degradan, absorben y asimilan en sus tejidos los contaminantes, pero también proporcionan una extensa superficie donde se posibilita el crecimiento bacteriano y se filtran los elementos sólidos en suspensión. (Política de aguas, 2005).

Los diferentes sistemas de depuración que utilizan macrofitas acuáticas se clasifican en:

#### **Sistema de macrofitas emergentes de flujo superficial:**

Este sistema y el siguiente utilizan plantas enraizadas y tolerantes al encharcamiento. Suelen ser vivaces y sus hojas se secan en invierno, rebrotando en primavera a partir de rizomas, como los carrizos (*Phragmites* sp.), juncos (*Scirpus* sp.) o eneas (*Typha* sp.) En los sistemas de flujo superficial la eliminación de contaminantes se produce por reacciones que tienen lugar en el agua y en la zona superior de contacto, ya que por las raíces circula una escasa cantidad de agua residual, por lo que su potencial de depuración es muy restringido (Política de aguas, 2005).

#### **Sistema de macrofitas emergentes de flujo subsuperficial**

Similar al anterior, utiliza una capa de grava o de suelo por donde circula el agua por gravedad. Se obliga a pasar toda el agua residual por las raíces, lo que incrementa enormemente el rendimiento depurativo. Su

mayor inconveniente es la rápida colmatación del terreno con el paso de los años, ya sea por las propias raíces y rizomas o por los sólidos sedimentados. Eliminar los contaminantes significa entonces destruir el sistema (Política de aguas, 2005).

#### **Sistema de macrofitas flotantes:**

Utilizan especies que son flotantes de forma natural, como las lentejas de agua (*Lemna*, *Wolffia*, *Spirodella*) el helecho (*Azolla* sp.), el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), o los nenúfares (*Victoria regia*). Estos sistemas tienen la ventaja de que el contacto entre las raíces y el agua residual es total y presenta una gran superficie. Sin embargo, estas especies no alcanzan un gran tamaño y su producción de biomasa es limitada, lo cual reduce su valor depurativo absoluto, aunque absorben grandes cantidades de nitrógeno y fósforo. Sin embargo, son muy efectivos cuando las concentraciones de materia orgánica y de sólidos disueltos son bajas (Política de aguas, 2005).

#### **Sistema de Filtro de Macrofitas en Flotación:**

Este sistema utiliza macrofitas de tipo emergente, que de forma natural se encuentran enraizadas en el terreno, pero que aquí se transforman artificialmente en flotantes. Se trata de un método novedoso que combina las ventajas de los sistemas flotantes y los de macrofitas emergentes, eliminando o reduciendo sus inconvenientes. El sistema es capaz de realizar un tratamiento terciario de los efluentes secundarios de sistemas de depuración convencionales eliminando elementos eutrofizantes, especialmente fósforo y nitrógeno. Efectúa un tratamiento secundario descomponiendo la materia orgánica por medio de los microorganismos adheridos al sistema radicular de las plantas, y también favorece la disminución de sólidos en suspensión al quedarse adheridos en el entramado de raíces. Algunas especies de plantas emergentes tienen la



capacidad de absorber cantidades importantes de metales pesados o descomponer fenoles, por lo que el sistema es también válido para tratar vertidos industriales. La profundidad de los mismos varía entre los 25 y 75 cm. Las plantas deben ser en lo posible autóctonas de la región y se disponen de tal forma que sus raíces, rizomas, y parte del tallo, se encuentren sumergidos. Se ha trabajado especialmente con carrizos (*Phragmites* sp.), esparganios (*Sparganium* sp.), juncos (*Scirpus*, *Schoenus*), lirio de agua (*Iris pseudocorus*) y espadañas o enneas (*Typha* sp.). Al crecer flotando, estas especies forman una densa esponja de raíces y rizomas que ocupan todo el volumen del vaso (laguna o canal), y obligan a que el agua circule por esta maraña de vegetación, que actúa a su vez de soporte de los microorganismos que degradan la materia orgánica. Las hojas, paralelamente, bombean oxígeno a las raíces, lo que favorece el proceso de degradación de los contaminantes (Política de aguas, 2005).

#### **2.4.1.3 Innovación Biológica (Fitorremediación).**

La fitorremediación es considerada en todo el mundo como una tecnología innovadora para el tratamiento de residuos tóxicos- sólidos o líquidos- con el objeto de recuperar suelos y aguas contaminadas. También despierta interés, para los fines descritos, el sistema de asociación de plantas con los organismos de la rizósfera (Cusato, 2002). Con base en sus formas de vida, las plantas utilizadas en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos:

**Emergentes:** la raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta.

Ejemplos: carrizo (*Phragmites australis*), platanillo (*Sagittaria latifolia*) y tule (*Thypha dominguensis*).

**Flotantes:** se subdividen en dos grupos:

**a)** Plantas de libre flotación (no fijas): sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua.

Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes.

Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua (*Lemna* spp. y *Salvinia minima*).

**b)** Plantas de hoja flotante (fijas): tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos.

Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*).

**Sumergidas:** se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua.

Ejemplos: bejuquillo (*Cerathophyllum demersum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*) (Meas, 2004).

Cualquiera que sea el sistema, este consiste en una o más lagunas poco profundas en las que se cultivan plantas tolerantes, predomina la presencia de macrofitos en lugar de algas; entonces el agua residual es tratada principalmente por el metabolismo bacteriano y la sedimentación física.

## **2.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

### **2.4.2.1 Contaminación del agua**

Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas y/o su composición. En líneas generales, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. La contaminación del agua se debe al crecimiento demográfico, desarrollo industrial y urbanización.

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada se han ideado mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina.

A pesar del control y prevención que se persigue en muchos países, se reportan aguas contaminadas con coliformes lo que hace que la calidad del agua no sea la deseada, si bien muchos países tienen agua en grandes cantidades, el aumento poblacional, la contaminación de las industrias, el uso excesivo de agroquímicos, la falta de tratamiento de aguas negras y la erosión de suelos por la deforestación hacen que ese recurso sea escaso (Ramírez, 2006).

El rápido crecimiento de la población urbana (superior al 3% anual) obliga a darle especial atención al problema del manejo de sus desechos. En los países desarrollados se aplica tecnologías para el tratamiento de las aguas que tiene un alto costo, requiere personal bien calificado, educación sanitaria, capacidad y voluntad para pagar su costo.

Mientras los países del tercer mundo, solo una pequeña minoría tendría la capacidad para pagar esta tecnología, siendo el resultado final la descarga de aguas residuales crudas procedentes de los sistemas de alcantarillados a los cuerpos de agua, los que sufren una continua degradación en su concentración de oxígeno disuelto, lo que llega a niveles por debajo de los necesarios para mantener la vida acuática y la contaminación con bacterias y otros agentes patógenos, afectando la salud de las personas que utilizan estos cuerpos de agua contaminadas.

En los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales se acentúa la reducción o eliminación de la DBO y sólidos en suspensión, en tanto que el tratamiento para aprovechamiento se exige la eliminación de agentes patógenos como los helmintos, operaciones para la cual no son muy eficaces los métodos convencionales (Bujan, 2004)

### **Riesgos y posibilidades de las aguas residuales**

Las aguas residuales no tratadas son la principal amenaza para la salud pública, siendo el medio de difusión de muchas enfermedades infecciosas.

El excremento de seres humanos y animales, infectado con ciertos microorganismos patógenos (**bacterias, virus y otros organismos que causan enfermedades**), contiene grandes cantidades de estos agentes, incluso si los síntomas de padecimiento desaparecen, es posible que los individuos infectados alberguen poblaciones reducidas del microorganismo patógeno, de modo que siguen siendo portadores de la enfermedad. Si sus desechos contaminan el agua potable, los alimentos y hasta el agua para bañarse o nadar, los microorganismos llegan a contagiar a otros individuos (Falquez, 2006).

**Tabla 2. Microorganismos Patógenos En Aguas Servidas**

<b>ENFERMEDAD</b>	<b>AGENTE INFECCIOSO</b>
Fiebre tifoidea	Salmonella Typha (bacteria)
Cólera	Vibrio Cholerae (bacteria)
Salmonelosis	Varias especies de Salmonella(bacteria)
Diarrea	Escherichia coli varias especies de Campylobacter (bacteria)
Hepatitis infecciosa	Virus de Hepatitis A
Poliomielitis	Virus de la Polio
Disentería	Varias especies de Shigalla(bacteria), Entamoela histolytica
Giardiasis	Giardia intestinal (protozooario)
Numerosas enfermedades (ácaros, platelmintos), parasitarias	

**Fuente:** Ab. Joselo Falquez Espinoza

**Elaborado por:** Liliana Fiallos

El grado al que un agente patógeno se difunde en una población está determinado en buena medida de dos factores: primero, casi todos los microorganismos patógenos sobreviven cuando mucho unos cuantos días fuera del huésped; segundo, que ocurra una infección depende del número de microbios que entren en el organismo. Así, cuando los huéspedes son escasos, se transfieren muy pocos microorganismos patógenos, porque pasa mucho tiempo entre la expulsión de un individuo y el contacto con el siguiente porque los niveles de contaminación son bajos. (Falquez, 2006).

**- Tipos de contaminantes:**

**a. Contaminantes Físicos:** Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (Narváez, 2006).

**b. Contaminantes Químicos:** Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos, también desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro, y ácido sulfhídrico. Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia (Narváez, 2006).

**c. Contaminantes Orgánicos:** También son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, e industriales como productos químicos de origen natural así aceites, grasas, breas, tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (Narváez, 2006).

**d. Contaminantes Biológicos:** Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua (Narváez, 2006).

### **2.4.2.2 Fitorremediación**

El término *fitorremediación* hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Es un término relativamente nuevo, acuñado en 1991. Se compone de dos palabras, *fito* que en griego significa planta o vegetal, y *remediar* (del latín *remediare*), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales.

De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir *in situ* la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíces que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (Núñez, 2004).

### **2.4.2.3 Parámetros Para Determinar Calidad En Aguas**

#### **2.4.2.3.1 Análisis Físico – Químicos**

Estos índices permiten la comparación, si son obtenidos por el mismo método matemático analítico, entre diferentes muestras de aguas tomadas en distintos lugares y épocas. También consiguen de forma rápida y resumida obtener otros resultados, tales como realizar el estudio de la evolución del estado de una determinada agua a lo largo del tiempo, y comprobar la adecuada o no política de gestión ambiental de dicha agua:

## **a) Temperatura**

Se deberá medir al momento de la toma de muestra para lo cual se introducirá un termómetro en la muestra hasta una profundidad determinada (25 cm) y se esperara hasta que la lectura sea constante. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 20°C, facilita así el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en verano como en invierno, y en cualquier tipo de tratamiento biológico.

La temperatura afecta a parámetros o características tales como:

- Solubilidad de gases y sales. (Ley de Henry y Curvas de solubilidad)
- Cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, aumento de la velocidad de reacción con la temperatura. (Ley de Vant'Hoff)
- Desplazamientos de equilibrios químicos, un aumento de la temperatura los desplaza en el sentido en que son endotérmicos. (Principio de Le Chatelier).
- Tensión superficial.
- Desarrollo de organismos presentes en el agua.

La influencia más interesante va a ser la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura, y la aceleración de los procesos de putrefacción (Orozco, 2005).

## **b) Potencial Hidrógeno**

El pH del agua pura es de 7 a 25°C. Como consecuencia de la presencia de ácidos y bases y de la hidrólisis de las sales disueltas, el valor del pH puede disminuir o aumentar. La presencia de sales de bases fuertes y



ácidos débiles como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  incrementa el pH. Sales de bases débiles y ácidos fuertes como  $\text{CaCl}_2$  produce disminución del mismo.

El pH causa destrucción de la vida acuática a niveles de  $\text{pH} < 4$  de todos los vertebrados, muchos invertebrados y microorganismos, así como la mayoría de las plantas superiores, con aguas con  $\text{pH} < 6$  pueden causar graves corrosiones en cañerías, buques, embarcaderos y otras estructuras, si el agua rebasa los límites de pH entre 4,5 y 9 causa problemas al suelo y destrucción de las cosechas. Un agua ácida ( $\text{pH} < 4,5$ ) aumenta la solubilidad de sales de hierro, aluminio, magnesio y otros metales que pueden resultar tóxicos para las plantas. Un pH muy básico puede inmovilizar algunos oligoelementos esenciales (Orozco, 2005)

### **c) Sólidos Disueltos Totales**

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta, en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total, de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 micras o más pequeños. Los sólidos disueltos pueden afectar, adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Agua para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor.

Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)

#### d) Conductividad

Se denomina conductividad de un agua a la aptitud de esta para transmitir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia, definida como la conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos de  $1\text{cm}^2$  de superficie y separados el uno del otro por 1cm.

La conductividad depende de la actividad y tipo de los iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida, debiéndose referir a la temperatura de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a -6, es decir microSiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ), o en 10 elevado a -3, es decir, miliSiemens (mS/cm) (Herrera, 2010)

**Tabla 3.** Caracterización del agua por el valor de la conductividad

Calidad del agua	Pura	Poco Contaminada	Contaminada	Muy Contaminada	Excesivamente contaminada
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	<280	280-430	430-600	600-860	>860

**Fuente:** Herrera, 2010

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

#### e) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. El DBO se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.

La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Romero, 2002)

#### **f) Demanda Química De Oxígeno\* (DQO)**

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las materias orgánicas existentes en el agua y oxidables en condiciones operatorias definidas. De hecho, la medida corresponde a una estimación de la materia oxidable presente en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros). La DQO esta en función de las características de la materia presente, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc. Por lo que es bien evidente que la reproducibilidad de los resultados y su interpretación no podrán ser satisfactorias más que en las condiciones de metodología bien definidas y estrictamente respetadas.

Se ha establecido en algunos casos una relación tosca entre la DBO y la DQO pero como la oxidación química y oxidación biológica son procesos diferentes pueden diferir mucho en los resultados.

- $DBO^5/DQO < 0,2$  indican la presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.
- $DBO^5/DQO > 0,6$  señalan la presencia predominante de contaminación orgánica de naturaleza biodegradable (Romero, 2002)

### **g) Nitrógeno total**

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización.

El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kjendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

La forma predominante de nitrógeno en aguas residuales domesticas frescas es el nitrógeno orgánico; las bacterias rápidamente descomponen el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, si el medio es aerobio, en nitritos y nitratos. El predominio de los nitratos indica que el residuo se ha estabilizado con respecto a su demanda de oxígeno. Los nitratos, sin embargo, utilizados por las algas y otros organismos acuáticos para formar proteínas y, por ello, puede necesitarse la remoción del nitrógeno para prevenir dichos crecimientos.

En los intestinos humanos el nitrato es reducido a nitrito, absorbido por el torrente sanguíneo y causante de la metahemoglobina infantil o de la formación de nitrosaminas, las cuales son cancerígenas (Aguilar, 2001)

### **h) Fósforo total**

El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. El fósforo disuelto en el agua puede proceder de ciertas rocas o del lavado de los suelos, así como de fertilizantes utilizados en agricultura o

detergentes. El fósforo es un elemento muy importante para el desarrollo vegetal, pero de igual manera, un exceso de fósforo en las aguas puede desencadenar problemas de eutrofización (Medina, 2006)

El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico. El fósforo puede encontrarse en las aguas residuales disuelto o en partículas, ya sea en compuestos orgánicos o inorgánicos. Para liberar el fósforo que está combinado en la materia orgánica, es preciso someter la muestra de agua a un proceso de digestión ácida. Tras la digestión, el fósforo está en forma de ortofosfatos, que se determinan por métodos colorimétricos.

### **i) Detergentes**

Los detergentes después de ser utilizados en la limpieza doméstica e industrial son arrojados a las alcantarillas de las aguas residuales y se convierten en fuente de contaminación del agua.

Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.

Los detergentes son semejantes a los jabones porque tienen en su molécula un extremo iónico soluble en agua y otro extremo no polar que desplaza a los aceites. Los detergentes tienen la ventaja, sobre los jabones, de formar sulfatos de calcio y de magnesio solubles en agua, por lo que no forman coágulos al usarlos con aguas duras. Además como el ácido correspondiente de los sulfatos ácidos de alquilo es fuerte, sus sales (detergentes) son neutras en agua.

Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas (mugre) a una superficie; por fosfatos que tienen un efecto ablandador del agua y flocculan y emulsionan a las partículas de mugre, y algún otro componente que actúe como solubilizante, blanqueador, bactericida, perfumes, abrillantadores ópticos (tinturas que dan a la ropa el aspecto de limpieza), etc.

Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes del agua al ser arrojados en las aguas residuales. El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte.

#### **j) Color**

El agua contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Se debe diferenciar el color aparente, que es el que presenta el agua bruta, del denominado color verdadero, que es el que se presenta cuando se ha eliminado la materia en suspensión.

El color de los efluentes urbanos produce ciertos efectos sobre las aguas de aplicación cuando se siguen sistemas agrarios de tratamiento de las aguas residuales. Generalmente, la coloración es indicadora de la concentración y composición de las aguas contaminadas, y puede variar del gris al negro. En la medida que éste es más intenso, la capacidad de

absorción de energía solar es mayor, y ello redundaría en una ligera elevación de la temperatura del suelo. (Seoanez, 2007)

#### **k) Olor**

Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. (Seoanez, 2007)

#### **2.4.2.3.2 Análisis Microbiológicos**

Los índices biológicos, tienen en general una metodología analítica más dificultosa, permiten sin embargo, un estudio de la influencia real de la contaminación de las aguas sobre el ecosistema acuático.

De forma paralela al estudio de índices físico-químicos para valorar la contaminación de un agua, se ha desarrollado una metodología basada en el factor biológico de las aguas, que tiene el gran interés de ser un factor integrador de todos los restantes que afectan a la calidad. Se basa en determinar la influencia de la contaminación en la composición y estructura de las comunidades biológicas que viven en las aguas y los cambios que se producen en las mismas.

#### **a) Índice de coliformes Totales**

Su hábitat natural es el intestino humano y su presencia en el río indica contaminación cloacal. Para que el agua sea potable no debe tener más de 2/100 ml (dos bacterias cada 100 mililitros) y para que un río sea factible de potabilizar no puede superar los 5.000/ml.

Los microorganismos comprenden todas las bacterias en forma de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran Negativos no esporulados, que pueden desarrollarse en inhibición del crecimiento y fermentan la lactosa con la producción de ácido y gas a una temperatura de 35°C en un periodo de 24 a 48 horas. (Romero, 2007)

Los microorganismos que están presentes en las aguas residuales son muy diversos, sin embargo, la determinación del número más probable de microorganismos (NMP) Coliformes Fecales y Coliformes Totales en 100 ml de muestra da un indicio del grado de contaminación del agua residual. El Método de Numero Mas Probable (NMP) es una estrategia eficiente de estimación de densidades poblacionales especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible. La técnica se basa en la determinación de presencia o ausencia (pos o neg) en réplicas de diluciones consecutivas de atributos particulares de microorganismos presentes en muestras de agua. (Soledad, 2009)

#### **b) Índice de coliformes fecales**

Comprende todas las bacterias en forma de bacilos aerobios y anaerobios facultativos gran Negativos no esporulados, que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición del crecimiento y fermentan lactosa con la producción de ácido y gas a una temperatura de 44.5 °C ± 0.2°C en menos de 24 ± 2 horas.

En aguas residuales se usa el ensayo de coliformes fecales como indicador de contaminación, los cuales constituyen los mejores indicadores de la presencia posible de patógenos. Dentro del grupo de coliformes se considera a *Escherichia coli* de origen fecal exclusivamente, y por ello es el organismo indicador preferido de contaminación fecal. Un indicador más secundario, que se determine habitualmente, son los



*estreptococos fecales*, cuya presencia es fácil de detectar (aunque en menor número que los coliformes) en aguas recientemente contaminadas (Romero, 2007).

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis Nula

La innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas NO es positiva para disminuir los niveles de contaminantes en las aguas que pasan por la Estación “El Peral”, EMAPA-Ambato.

### 2.5.2 Hipótesis Alternativa

La innovación biológica aplicada para la depuración de aguas contaminadas es efectiva para reducir la contaminación en la Estación “El Peral”, EMAPA-Ambato.

## 2.6 Señalamiento de variables

Se han identificado como **variable independiente** la innovación biológica en la Depuración de Aguas. Es el cambio en el saneamiento del agua de la Estación El Peral de acuerdo con el método biológico (“lechuguines” o carrizo), empleado para el tratamiento de las aguas contaminadas.

En la presente investigación se han identificado como **variable dependiente** la disminución de la Contaminación de aguas: cantidad de metales pesados, demanda bioquímica de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, coliformes fecales y coliformes totales, el pH y temperatura además de las características físicas tales como turbidez, color y olor.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Enfoque**

La investigación será de carácter tanto cualitativo como cuantitativo ya que al tratarse de aguas contaminadas se determinaron cualitativamente ciertas características físicas mientras que las características químicas y microbiológicas son de carácter cuantitativo.

#### **3.2 Modalidad básica de la investigación**

Las modalidades de investigación a seguir fueron: de **Campo** ya que el método propuesto se aplicó en la planta de tratamiento de aguas residuales “El Peral” de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Ambato; **Bibliográfica – Documental** pues se tomó como referencia información bibliográfica de publicaciones de biblioteca e internet; **Experimental** debido a que se realizaron los análisis de las aguas en laboratorio.

#### **3.3 Nivel o tipo de investigación**

Los tipos de investigación aplicados en este estudio fueron exploratorio y descriptivo.

**Exploratorio.-** Pues se estudió detalladamente las aguas residuales de la planta de tratamiento el Peral mediante diferentes análisis físico-químicos y microbiológicos.

**Descriptivo.-** Puesto que se caracterizó las muestras de aguas residuales mediante análisis, que permitieron obtener datos confiables sobre caracterización de aguas residuales y el índice de contaminación de las mismas.

### **3.4 Población y muestra**

**Población:**

- Las aguas servidas del sector Ficoa- La Delicia que llegan al sistema de depuración actual de aguas contaminadas en la Estación “El Peral” EMAPA.

**Muestra:**

**Primero y Segundo Mes**

- Muestra inicial previa a la acción del vegetal (0 días)
- Agua de permanencia en los estanques vegetales a los 10 días
- Agua de permanencia en los estanques vegetales a los 20 días
- Agua de permanencia en los estanques vegetales a los 30 días

### 3.5 Operacionalización de variables

#### 3.5.1 Variable Independiente: Innovación Biológica

Tabla 4. Operacionalización de la variable Independiente

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACION	CATEGORIAS	INDICADORES	ITEM BASICO	TECNICAS E INSTRUMENTOS
La innovación biológica para descontaminación de aguas es la Fitorremediación, para esto se cultivaron dos especies vegetales durante un mes, en dos estanque y se evaluó parámetros principales para determinar el grado de contaminación.	-Tiempo de acción de la especie vegetal	Nivel de contaminación	¿El tiempo de prueba es suficiente para que los vegetales actúen?	<u>Días de acción :</u> - Muestra inicial (0 Días) - 10 Días - 20 Días - 30 Días

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**3.5.2 Variable dependiente:** Disminución de la contaminación del agua

**Tabla 5. Operacionalización de la variable Dependiente**

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACION	CATEGORIAS	INDICADORES	ITEM BASICO	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Mediante el análisis periódico de los parámetros principales, se determina el avance en el tratamiento de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Características físico-químicas</li>   <li>-Índice de contaminación microbiológica en aguas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> <li>- DBO(5días)</li> <li>- DQO</li> <li>- Fósforo</li> <li>- Nitrogeno</li> <li>- Detergentes</li> <li>-Temperatura</li> <li>- Coliformes fecales</li> <li>- Coliformes totales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Existen cambios notorios de las características físico-químicas del agua?</li>   <li>¿En qué tiempo se obtiene una muestra con menor contaminación microbiológica?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escala 1-14</li> <li>- Método APHA 5210</li> <li>- Método APHA 5220</li> <li>- Método APHA 4500PC</li> <li>- Método APHA 4500 NorgC</li> <li>- Método HACH 710</li> <li>- Método APHA 2550B</li> <li>- Método APHA 9222</li> <li>- Método APHA 9221</li> </ul>

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

## 3.6 Recolección de información

### 3.6.1 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de la información fueron de observación directa puesto que se estuvo en contacto con el objeto de estudio en escenarios y ambientes debidamente preparados y equipados para realizar la investigación que condujo a la comprobación de las hipótesis planteadas.

Los datos bibliográficos se obtuvo mediante investigación documental ya sea en libros o internet, con estos conocimientos se procedió a recolectar datos prácticos mismos se consiguieron mediante el análisis correspondiente de las muestras, inmediatamente tomadas.

### 3.6.2 Materiales y Métodos

Para la ejecución del estudio de fitorremediación de las aguas contaminadas, primeramente se realizó una planimetría de distribución de la planta de tratamiento “El Peral (ANEXO D, Imagen D-20), con el fin de conocer las componentes actuales, y las funciones de cada uno, así se identificó que existe: una **caja de entrada** a la planta, seguido de un **desarenador**, localizado antes de todas las demás unidades de tratamiento, a continuación se encuentra el **tanque séptico**, se caracteriza porque la sedimentación y la digestión ocurren dentro del mismo tanque, dispone de dos válvulas que se abren para evacuar el lodo hacia el **lecho de secado de lodos**, por la parte lateral del tanque séptico sale una tubería por la parte inferior, que conduce a la **caja de Filtro** de flujo ascendente.

A continuación de la caja de filtro se construyó dos estanques de 1.8 metros de largo por 1.3 metros de ancho y 1.3 metros de profundidad cada uno, estos estanques fueron forrados con dos capas de plástico de invernadero (ANEXO D, Imagen D-9), los mencionados estanque se encuentran ubicados en el sector de Ficoa- la Delicia, en la planta de tratamiento El Peral, los estanque se construyeron posterior a la caja de filtro, antes de que el agua sea evacuada al río, al momento de ejecutar la innovación biológica, se vio la necesidad de construir una caja de revisión de 1 metro cuadrado, con la que se pudo controlar la entrada del agua cuando sea necesaria hacia los estanque, y cuando no, el agua siga su curso anterior (ANEXO D, Imagen D-7), en los estanques se acumuló un volumen de 1 m<sup>3</sup> para probar la acción de dos tipos de vegetales, en el un estanque se coloco "lechuguín" (*Eichornia crassipes*) perteneciente a la familia Pontederiaceae y en el otro se planto carrizo" (*Phragmites australi*) de la familia Poaceae, durante un meses, tiempo en el cual se tomo 4 muestras, primeramente antes de colocar los vegetales, se tomo la muestra #1, para verificar las condiciones iniciales de agua que se va a tratar, y las siguientes muestras, se tomaron cada 10 días hasta completar cuatro muestras de cada estanque, (0, 10, 20, 30 días).

Transcurrido este tiempo se realizó una repetición en un segundo mes por lo que procedió a realizar el vaciado de los estanques con la ayuda de una bomba de succión (ANEXO D, Imagen D-13), una nueva siembra en la cual se trabaja de igual forma a la detallada anteriormente. Las muestras fueron trasladadas a los laboratorios para el respectivo análisis.

Tanto el lechuguín como el carrizo actúan como filtros, sumideros de sedimentos y precipitados y como agentes biogeoquímicos que depuran, reciclan y transforman nutrientes.

## - **Toma y conservación de la muestra**

El objetivo de la toma de muestra es la obtención de una porción de agua cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en laboratorio.

Antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlo dos o tres veces con el agua que va a recoger, a menos que el envase contenga algún tipo de conservante o decolorante en cuyo caso la muestra se tomara directamente en el envase, en la presente evaluación no requiere ningún conservante ni decolorante, por esto la toma de muestras es directa, en el caso de las muestras que fueron transportadas hacia la ciudad de Quito, se dejó un espacio de alrededor 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica.

Entre los principales factores que influyen sobre los resultados se encuentran la presencia de materia suspendida o de turbidez, el método elegido para la recolección y los cambios físicos y químicos producidos por la conservación o la aireación.

Se debe llevar un registro de cada muestra recolectada y se identificará cada recipiente, preferiblemente pegando una etiqueta que contendrá información como nombre del colector, fecha, hora, ubicación exacta del punto de muestreo, temperatura y pH del agua, o cualquier otro dato que pueda ser necesario para correlación, tales como almacenamiento post-muestreo.



### **a) Envases**

En general, los envases están hechos de plástico o vidrio, y según los casos pueden resultar preferibles uno u otro de los materiales. Para muestras que contienen compuestos orgánicos conviene evitar los envases de plástico, salvo los fabricados con polímeros fluorados como el polotetrafluoretileno (TFE).

### **b) Cantidad**

Para la mayoría de los análisis físicos y químicos se necesitan muestras de 2 litros. Para determinadas pruebas pueden requerirse volúmenes mayores. En este caso se tomó una muestra de 1.5 litros de la cual 1 litro fue enviado a Quito, al Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador para el análisis de parámetros como: Índice de coliformes fecales y totales, fósforo total y nitrógeno total. Y la parte restante de la muestra (0.5 litros) fue trasladada al laboratorio de control de calidad de aguas, de la EMAPA (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado) para el análisis del resto de parámetros así como: Demanda química de oxígeno, Demanda Bioquímica de oxígeno.

### **c) Intervalos de tiempo entre la toma y el análisis.**

Cuanto menor sea el tiempo que transcurre entre la toma de muestra y su análisis, más fiable será el resultado del mismo. Es imposible establecer con exactitud en tiempo máximo que puede transcurrir entre la toma de muestra y su análisis. Los cambios debido al crecimiento de microorganismos se retrasarán si se mantiene la muestra en la oscuridad y a temperatura menor a 15°C.

#### d) Parámetros a evaluarse

**Tabla 6.** Parámetros a evaluarse

<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>
Temperatura	°C
Potencial hidrógeno	
Conductividad	us/cm
Sólidos disueltos totales	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
Detergentes	mg/L
Índice de coliformes Totales	NMP/100ml
Índice de coliformes Fecales	NMP/100ml
Nitrógeno Total	mg/L
Fósforo Total	mg/L

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

#### **Análisis de laboratorio**

Los análisis de las muestras de agua se realizaron en el Laboratorio de control de calidad de aguas de la Empresa Municipal de Agua potable y Alcantarillado de Ambato. Además, en vista de no ser posible el análisis de ciertos parámetros como: Índice de coliformes fecales, Índice de coliformes totales, Nitrógeno total, fósforo total y detergentes, las muestra fueron enviadas al Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador para el análisis de estos parámetros.

### 3.6.3 METODOS

Se realizó 4 análisis del agua de los estanques vegetales, cada muestra con una replica, para el análisis de resultados y la aplicación del diseño experimental.

#### 3.6.3.1 Diseño Experimental

Factores en estudio para aplicación de Fitorremediación en aguas contaminadas.

**Tabla 7.** Factores de Estudio

<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>
A: Vegetal para fitorremediación	a1: Lechuguín a2: Carrizo
B: Tiempo de acción	b1: 0 días b2: 10 días b3: 20 días b4: 30 días

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

Se realizó una réplica para de todo el proceso para corroborar los resultados y aplicar el diseño experimental A x B con 2 repeticiones.

## Tratamientos

Los tratamientos resultantes de la correlación de los factores de estudio en el desarrollo de un método para Fitorremediación son:

**Tabla 8. Tratamientos**

Tratamientos		Factores de estudio	
Nº	Codificación	Vegetal para Fitorremediación	Tiempo de acción
1	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	lechuguín	día 0
2	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	lechuguín	día 10
3	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	lechuguín	día 20
4	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	lechuguín	día 30
5	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Carrizo	día 0
6	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Carrizo	día 10
7	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Carrizo	día 20
8	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Carrizo	día 30

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

El análisis de la información se basó en la interpretación de los resultados obtenidos según diseño experimental A x B con 2 réplicas, después de su análisis al encontrar diferencias significativas entre las observaciones de estudio se realizó la prueba de Tukey al 5%.

### **3.6.3.2 Análisis Físico – Químicos**

#### **a) Temperatura**

##### **Materiales y reactivos**

Termómetro

##### **Procedimiento**

Se deberá medir al momento de la toma de muestra para lo cual se introducirá un termómetro en la muestra hasta una profundidad determinada (25 cm) y se esperara hasta que la lectura sea constante. (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

#### **b) Potencial Hidrógeno**

##### **Materiales y reactivos**

pH metro

Soluciones patrón de pH 4,00 y 7, 00

##### **Procedimiento**

Si la conductividad eléctrica no supera 100mS/cm, las muestras no requieren preparación especial para la medida del pH.

- Calibración del pH- meter con las soluciones tampón de referencia (de acuerdo con las instrucciones del aparato).
- La temperatura de la muestra debe estar adecuada para efectuar la medida de pH (temperatura ambiente).
- Para la medición de este factor se utilizará el agua necesaria en el que se puede introducir un electrodo de cristal y el electrodo de calomel

para lo cual se introduce el electrodo en el vaso de precipitación que contiene la muestra y presionar READ (leer) esperar un momento y al sonar el timbre del pH metro, la lectura estará en la pantalla.

- El valor puede ser leído con una precisión de 0.1 unidades o 0.01 unidades.
- Entre medida y medida de pH de muestras diferentes, el electrodo debe limpiarse con agua destilada y posteriormente ser secado. (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

### **c) Conductividad**

#### **Materiales y reactivos**

Conductímetro equipado con celdas de 4 conductividades de inmersión de distintas constantes.

Termómetro con escala de 0 a 40 °C.

Soluciones patrón de KCl 0.01M (0.7456 g/l), esta solución tiene una conductividad de 1271 ms/cm a 20 °C.

#### **Procedimiento**

Medir la conductividad de la muestra a una temperatura lo más cercana posible a 20 °C para esto se procede así:

- Calibrar el conductímetro con las soluciones patrón.
- Introducir el electrodo en la muestra y presionar READ, esperar un momento hasta que la lectura en la pantalla se estabilice. (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

### **d) Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales de la muestra se midió simultáneamente con la conductividad y la temperatura ya que el conductímetro registra estos tres parámetros, para esto se:

- Calibrar el conductímetro con las soluciones patrón.

Introducir el electrodo en la muestra y presionar READ.

- Esperar un momento hasta que la lectura en la pantalla se estabilice y registrar los valores. (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

### e) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

#### **Materiales y reactivos:**

- Una botella color ámbar
- Un agitador magnético
- Buffer nutritivo para DBO
- Tapón de caucho
- Grasa o vaselina
- Un sobre de hidróxido de litio

#### **Procedimiento:**

Para este análisis se tomará el volumen de muestra de acuerdo a la tabla-9.

**Tabla. 9** Rango de DBO a 20°C de temperatura

<b>DBO rango (mg/l)</b>	<b>Volumen requerido (ml)</b>
0 – 35	420
0 – 70	355
0 – 350	160
0 – 700	95
0 – 800	100
0 – 1600	57
0 – 3200	25
0 – 6000	10

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

Este volumen se vierte en una botella color ámbar, se colocará un agitador magnético, para ayudar a que la muestra se homogenice perfectamente con el sobre de buffer nutritivo para DBO que se deberá añadir para el crecimiento óptimo de las bacterias, cerrar con un tapón la botella aplicando grasa en el pico, con un embudo añadir cuidadosamente un sobre de LiOH.

Luego, se conecta adecuadamente los tubos a cada botella. Cada tubo corresponde a un número de canal del equipo que se refleja en el panel de control.

Se seleccionará la duración de la prueba (5 días). Simultáneamente se presionará y sostendrá las teclas < > hasta que el menú del tiempo aparezca. Posteriormente se presiona la tecla CHANNEL 6 para activar el programa. Use las teclas con flechas para escoger 5, 7 o 10 días. Presionar OFF para guardar la selección y salir del menú, cada canal debe funcionar individualmente es decir solo se puede iniciar la prueba en una botella.

La prueba inicia cuando se presiona el número de canal correspondiente a la botella y enseguida la tecla ON. Seleccionar con las flechas el rango de DBO y Presionar ON para iniciar la prueba. Aparecerá en la pantalla un gráfico. Para cancelar la prueba presionar OFF.

Pasado los cinco días se procede a leer los resultados de DBO directamente en la pantalla del equipo al presionar el botón correspondiente a cada muestra. (APHA-AWWA-WPCF, 1992)



## **f) Demanda Química De Oxígeno\* (DQO)**

### **Materiales y Reactivo**

- Reactor de DQO
- Dos tubos de reactivos de digestión para DQO
- Pipeta volumétrica
- Agua destilada
- Gradilla
- Espectrofotómetro de UV – Visible

### **Procedimiento:**

En este análisis se homogenizara de muestra por 30 segundos. Se enciende el reactor de DQO y se precalienta a 150°C.

Se retirar las tapas de dos tubos reactivos de digestión para DQO, el primer tubo se sujeta con un ángulo de 45°y se adicionara 2 mL de muestra con la ayuda de una pipeta volumétrica con esto se conseguirá la muestra preparada. En el segundo tubo se preparara el blanco, con la adición de 2 ml de agua destilada, se tapara herméticamente los dos tubos secos, se agitara suavemente los tubos para mezclar, una vez mezclados los tubos se colocaran en el reactor precalentado durante 2 horas, entonces se apagara el reactor y esperara 20 minutos hasta conseguir una temperatura de 120°C o menos, se agitaran los tubos suavemente y se colocan en una gradilla hasta que llegue a temperatura ambiente. A continuación se iniciara la determinación colorimétrica con el método 8000 en el espectrofotómetro de UV-visible, para lo cual se debe seleccionar el programa de lectura de acuerdo al rango de DQO, el tubo debe ser limpiado muy bien para quitar todas las marcas que puedan llevar a errores en la lectura, se coloca el tubo en el porta celdas iniciado siempre por el blanco, para la lectura se presionara cero, y aparecerá

0mg/L DQO en la pantalla, se esperara hasta que sueñe el timbre y en ese momento se colocara la muestra, el resultado se observara el la pantalla en mg/L DQO (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

### **g) Nitrógeno total**

#### **Materiales y Reactivo**

- Equipo de digestión Matraces Kjeldahl de 800 ml
- Aparato de destilación (matraz de vidrio bososilicato de 800 a 2000 ml, condensador vertical
- Espectrofotómetro para usar a 425nm.
- Reactivo de digestión
- Acido sulfúrico
- Hidróxido de Sodio-Tiosulfato de Sodio
- Solución Borato
- Hidróxido de Sodio, 6 N

#### **Procedimiento:**

##### *Preparación del instrumental y reactivos*

- Aparato de digestión: Matraces Kjeldahl de 800 ml. Digerir sobre un artefacto de calentamiento de tal modo que 250 ml de agua a una temperatura de 25°C puedan calentarse hasta ebullición en aproximadamente 5min. Para probar, precalentar el equipo por 30min. El artefacto se debe proveer un rango de temperatura de 375 a 385°C para una digestión efectiva.
- Aparato de destilación: Armar una matraz de vidrio bososilicato de 800 a 2000 ml de capacidad ajustado a un condensador vertical de tal modo que el burbujeador (la cola del destilador) quede debajo de la superficie

de la solución receptora. Usar un destilador construido enteramente en borosilicato o uno cuyos condensadores sean de estaño o aluminio.

Prepare todos los reactivos en agua libre de amonio.

- Reactivo de digestión: Disolver 134 g  $K_2SO_4$  y 7,3 g  $CuSO_4$  en unos 800 ml de agua. Cuidadosamente añadir 134ml de  $H_2SO_4$ . cuando se haya enfriado a temperatura ambiente, aforar a 1000 ml con agua. Mezclar bien. Mantener a  $20^{\circ}C$  para evitar cristalización.
- Reactivo Hidróxido de Sodio-Tiosulfato de Sodio: Disolver 0,1 N de NaOH y 25 g de  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  y diluir a 1L.
- Solución Borato: Añadir 88ml de una solución 0,1N de NaOH a 500ml de una solución. La aproximadamente 0,025M de Tetraborato de Sodio ( $Na_2B_4O_7$ ) (disolver y diluir 9,5g de  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  hasta 1L con agua).

### Método

a) Seleccione del volumen y preparación de la muestra: Colocar un volumen de muestra medido en un matraz Kjeldahl de 800ml. Seleccione el tamaño de la muestra de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 10.** Tamaño de la muestra

Nitrógeno Orgánico en la muestra mg/L	Tamaño de la muestra mL
1	500
1 – 10	250
10 –20	100
20 –50	50
50-100	25

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

c) Remoción de amonio: Añadir 25ml de solución tampón Borato y luego NaOH 6N hasta pH 9,5. Añadir unos cuantos núcleos de ebullición y evaporar hasta 300 ml. Como alternativa, si se ha determinado amonio por el método de destilación, recoja la destilación para determinación de Nitrógeno Orgánico.

d) Digestión: Añadir cuidadosamente 50ml de reactivo de digestión y unos cuantos núcleos de ebullición al matraz de destilación que contiene los 100 ml de muestra. Mezclar y digerir en Sorbona o en un equipo que provea la adecuada extracción de los vapores ácidos. Hervir hasta que el volumen se haya reducido hasta 50 ml y se observe la aparición copiosa de vapores blancos (estos humos pueden ser oscuros en muestras con alto contenido de materia orgánica). Luego continuar dirigiendo por otros 30 min. Como la digestión continua, las muestras turbias o coloreadas se volverán transparentes o verde pálido. Después de la digestión, dejar enfriar y diluir hasta 500 ml con agua y mezclar. Mantenga a alejado el matraz del personal y cuidadosamente añadir 50 ml de hidróxido de Sodio-Tiosulfato hasta formar una capa alcalina en el fondo del matraz. Agitar el matraz para asegurar una mezcla completa y conectar el matraz al aparato de destilación. El pH de esta solución deberá exceder el pH 11.0.

d) Destilación: Destilar y recoger 200ml del destilado. Usar 50ml de la solución como absorbente. Sumergir la cola de destilación (burbujeador) debajo del nivel de la solución absorbente y no permitir que la temperatura del condensador suba de 29°C. Al terminar levante la cola de destilación y continuar recogiendo destilado por 1 o 2 min. Más hasta limpiar el condensador. Aforar a 500ml y leer a 425nm (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

## **h) Determinación de fosforo total.**

### **Materiales y Reactivo**

- Matraz erlenmeyer
- Estufa
- Acido sulfúrico
- Persulfato amónico
- Hidróxido de sodio
- Fenolftaleína

### **Procedimiento:**

- Se introduce 50 ml de muestra homogeneizada en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- Se añade 1 ml de la solución de ácido sulfúrico.
- Se añade 0,4 g de persulfato amónico.
- Se lleva a ebullición, y se mantiene regularmente durante unos 45 minutos hasta tener un volumen final aproximado de 10 ml.
- Se deja enfriar, y se añaden unos 10 ml de agua destilada y unas gotas del indicador fenolftaleína.
- Se añade NaOH 1N hasta el viraje a coloración rosa de la fenolftaleína; la mezcla se decolora después añadiendo una gota de una disolución diluida de ácido sulfúrico.
- Se lleva a 50 ml con agua destilada.
- Se procede a la determinación de fósforo (ortofosfatos) siguiendo el método colorimétrico del vanadato-molibdato amónico.
- Las muestras se deben diluir convenientemente para que la concentración de fósforo final esté dentro del rango de lectura en el método analítico (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

## **i) Detergentes**

### **Materiales y Reactivo**

- Equipo Hach,
- Embudo de separación
- Reactivo para detergente
- Solución buffer de sulfato
- Benceno
- Soporte

### **Procedimiento:**

Ingresar el número 710 en Hach, correspondiente al programa para surfactantes aniónicos. Establecer la longitud de onda de 605 nm mediante el dial. Verter 300 ml con muestra a un embudo de separación. Añadir 10 ml de solución buffer de sulfato cerrar el embudo y agitar. Añadir un sobre con reactivo para detergentes y agitar, Añadir 30 ml de benceno en el embudo. Cerrar el embudo y agitar suavemente durante un minuto. colocar el embudo de separación en un soporte. Identificar en el Hach el tiempo requerido para la reacción y esperar 30 minutos. Transvasar 25 ml de muestra del embudo hacia una celda limpia. Llenar otra celda con 24ml de benceno como blanco. Colocar la celda con el blanco en el Hach y cerrar la tapa de la luz. Encerrar y cambiar la celda por al que contiene la muestra. Cerrar nuevamente la tapa y presionar el botón de lectura (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

## **j) Color**

El color del agua residual de la planta de tratamiento el Peral fue determinado por observación directa, comparando el la coloración del agua del estanque que contuvo lechuguín con el de carrizo, por lo que a simple vista la diferencia era notoria entre las muestras

## **k) Olor**

Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. En el estudio realizado el olor del agua se la determinó con el olfato, y de manera similar a la coloración se compara con el agua del otro estanque es decir la muestra del estanque de lechuguín con el de carrizo.

### **3.6.3.3 Análisis Microbiológicos**

#### **a) Índice de coliformes Totales**

##### **Materiales y Reactivo**

- Medio Membrane Lauryl Sulphate Broth
- Agua destilada
- Estufa
- Caja petri de aluminio estéril

##### **Procedimiento:**

Pesar 1.91 g del medio Membrane Lauryl Sulphate Broth (MLSB) y disuelva en 25ml de agua destilada, agite y caliente el medio hasta que este completamente liquido, coloque en las cajas petri de aluminio estéril.

Coloque la almohadilla de crecimiento en las cajas petri de aluminio. Coloque la membrana estéril o papel filtro en una membrana de bronce usando las tijeras esterilizadas. Cierre la membrana en un lugar empujando el funel del filtro firmemente hacia abajo. Ponga la muestra de agua en un funel de filtro hasta 100ml de graduación. Conecte la bomba de vacío manual para pasar el agua a través de la membrana. Cuando toda el agua ha sido filtrada, retire la bomba y use las pinzas esterilizadas para tomar la membrana de la unidad de filtración.

Coloque la membrana en la tapa de la almohadilla la cual ha sido saturada con MLSB. Para el caso de coliformes fecales coloque la membrana encima del medio (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

### **Incubación y conteo de crecimiento**

En el caso de las coliformes totales incube a 37°C por 24 horas, y contabilice todas las colonias amarillas, e ignore las blancas y transparentes.

### **b) Índice de coliformes fecales**

Para el caso de coliformes fecales se pesa 42g del medio Slanetz & Bartley Media y disuelva en 1000ml de agua destilada, agite y se hierve el medio hasta que este completamente liquido, una vez que haya hervido coloque en las cajas de plástico estériles unos 4mm.

Coloque la almohadilla de crecimiento en las cajas petri de aluminio y proceder de igual forma que en el caso de las coliformes totales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

### **Incubación y conteo de crecimiento**

Para coliformes fecales incube a 44°C por 24 horas y registre las colonias rosadas y cafés



### **3.7 Procesamiento y análisis**

Con los valores obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos, de las dos repeticiones, se procedió a tabular datos, a la vez se realizó gráficos de barras en el programa Excel para cada uno de los parámetros analizados, así se visualiza fácilmente la variación de los resultados con relación al tiempo, además de comparar con el límite máximo permisible según TULAS(Tabla N 1)., para determinar si se cumple o no con la Norma Ambiental, de forma independiente para cada uno de los parámetro.

Con los valores tabulados se realizó el procesamiento de la información obtenida en la fase experimental de la investigación, para ello se lo realizó un estudio estadístico con la ayuda del programa statgraphics plus con el 95% de confianza. Donde además con los valores de los análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de las muestras de agua se realizó la comparación de los datos obtenidos con los niveles máximos permitidos para descargas de aguas según la norma ambiental.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Los análisis se realizaron en las aguas de la Estación El Peral, del sector de Ficoa (Anexo D, Imagen D-19) Los resultados se obtuvieron en dos etapas. La primera etapa fue del 9 de marzo al 7 de abril la segunda etapa fue del 12 de mayo al 13 de junio del año 2011.

##### **Resultados obtenidos**

En la primera etapa se tomó como muestra inicial el agua de salida de la caja filtro, esta agua se distribuyó por separado a dos estanques que contenían dos vegetales diferentes (lechuguín y carrizo). Los factores en estudio para la aplicación de la Fitorremediación en aguas contaminadas fueron 11 parámetros, en los dos estanques independientemente, (Anexo A, Tablas 1 y 2), de los cuales en el primer muestreo, 5 parámetros presentan valores mayores al límite permisible según TULAS (Tabla 1).

Estos parámetros son: Detergentes, Índice de coliformes fecales y totales, nitrógeno total y fósforo total, en el segundo muestreo 10 días después, estos valores disminuyen, pero de igual forma no cumplen la norma, en un tercer muestreo, a los 20 días de iniciada la investigación, el índice de coliformes fecales continúa elevado en los dos estanques, y el nitrógeno en el estanque que contiene lechuguín, finalmente en el cuarto muestreo a los 30 días, se logró cumplir la norma, en los 11 parámetros con lo que

se establece que la fitorremediación fue positiva y redujo el índice de contaminación de las aguas servidas.

En la segunda etapa se utilizó los mismos estanques de la etapa anterior pero lavándolos y en el de carrizo se realizó una nueva siembra en vista que este vegetal se pudrió presumiblemente debido a las características y carga de los contaminantes presentes en las aguas servidas y/o por las características de los estanques empleados en la investigación.

En esta segunda etapa fueron 4 los parámetros que incumplen la norma ambiental según TULAS (tabla1). En los posteriores muestreos estos valores fueron disminuyendo hasta cumplir la norma en todos los parámetros.

#### **4.1.1 Temperatura (Anexo C, gráfico C-1 y C-2)**

La medición de la temperatura se realizó al momento de la toma de muestras, es decir en horas tempranas (07h00-08h30), por lo cual se registra mínima variación de un muestreo a otro, (18 y 19°C), a pesar de que a esta horas la temperatura ambiente es baja, pero en hora de la tarde y en presencia del sol, la temperatura asciende con lo que disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta en general la de las sales. Además aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción, es por ello que la temperatura puede ser un factor perjudicial para el óptimo desarrollo de los vegetales, especialmente del carrizo tomando en cuenta que el estanque estuvo construido con plástico. En el estanque con lechuguín no se evidenció destrucción del vegetal ya que se adaptó con facilidad. (Anexo D, Imágenes D-11 y D-12).

En el gráfico de barras no se observa mayor variación y no existió valores mayores a 20°C lo que es bueno, tomando en cuenta que según la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes (TULAS, 2010) se

considera que la temperatura del agua es un factor contaminante a temperaturas mayores a 35°C.

En el ANEXO B, la Tabla B-2, según el Análisis de Varianza con un 95% de nivel de confianza, existió diferencia significativa en el factor B, es decir el tiempo si influye en la variación de temperatura. El Coeficiente de varianza fue de 1.4% lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 1.4 veces será diferentes, al aplicar Prueba de Tukey al 5% de confianza, en el ANEXO B, Tabla B-3, para la temperatura se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos 3 y 4.

#### **4.1.2 Potencial Hidrógeno (Anexo, gráfico C-3 y C-4)**

El valor de pH en aguas negras debe estar entre 5 y 9, Según la Norma Ambiental y de Descarga de Efluentes (TULAS), menores valores pueden obtener como resultado CO<sub>2</sub> libre. Durante el mes que se monitoreo los dos estanque, la mayoría de los valores de potencial hidrogeno estuvieron dentro del rango permisible a excepción del tercero y cuarto muestreo (20 y 30 días), en el estanque que contenía carrizo, donde evidenció un alza en los valores de pH, sobrepasando en limite normal con valores de 9.33 y 9.97, probablemente por la presencia de sales de bases fuertes y ácidos débiles como Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> que incrementa el pH. Esto es perjudicial ya que existen bacterias que no soportan pH mayores a 9.5 o menores a 4.0 y son ellas las que ayudan a la degradación de ciertos contaminantes. El pH bajo incrementa la posibilidad de organismos filamentosos, además disminuye la respiración bacteriana al producirse dióxido de carbono.

En el ANEXO B la Tabla B-5, según el Análisis de Varianza con un 95% de nivel de confianza, existe diferencia significativa en los dos factores A y B, lo que indica que los valores de potencial hidrogeno se encuentran influenciados tanto por el tipo de vegetal como también por el tiempo.

El Coeficiente de varianza fue de 3.1% lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 3.1 veces serán diferentes.

Al aplicar la Prueba de Tukey, (ANEXO B, Tabla B-6), muestra que existe diferencia significativa en el factor A, siendo el mejor tratamiento el lechuguín a un tiempo de 20 días.

#### **4.1.3 Conductividad (Anexo, gráfico C-5 y C-6)**

Analizando los datos y visualizando la gráfica, se evidencia disminución en la conductividad, con el transcurso del tiempo, reportando valores entre 702 us/cm a 323 us/cm, tomando en cuenta que el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, es decir cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad, en este caso la conductividad disminuyó con el transcurso del tiempo entonces a mayor tiempo menor conductividad, tomando como referencia la tabla 2, se identifica inicialmente que el agua es muy contaminada, y al final de la investigación se obtiene un agua poco contaminada.

En el ANEXO B, Tabla B-8, según el Análisis de Varianza con un 95% de nivel de confianza existe diferencia significativa en los factores A y B, lo que indica que los valores de Conductividad se encuentran influenciados por el tiempo y el tipo de vegetal (Lechuguín o Carrizo), comparando los dos vegetales, los resultados son similares, en el agua del estanque de lechuguín los resultados son menores pero muy cercanos a los del carrizo.

El Coeficiente de varianza fue de 12.5%, lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 13 veces serán diferentes, este coeficiente indica mejores resultados mientras más bajo sea este valor,

es decir, es mejor los valores menores al 10%, en este caso es un valor cercano.

Al aplicar Prueba de Tukey como muestra el ANEXO B, en la Tabla B-9, existe diferencia significativa al 5% de confianza, en un tiempo de 10 días, independientemente del tipo de vegetal.

#### **4.1.4 Sólidos Disueltos totales (SDT) (Anexo, gráfico C-7 y C-8)**

Los valores de Sólidos totales Disueltos, muestran un descenso progresivo con los dos tipos de vegetales, el lechuguín presento mayores bajas en este parámetro, como se mencionó anteriormente este parámetros se encuentra directamente relacionado con la conductividad y temperatura, entonces los valores de SDT disminuyen con el transcurso del tiempo, en los muestreos realizados en periodos de 10 días.

En el ANEXO B la Tabla B-11, según el Análisis de Varianza con un 95% de nivel de confianza existe diferencia significativa en los factores A y B, lo que indica que los valores de Sólidos Disueltos Totales se encuentran influenciados por el tiempo y por el tipo de vegetal, entonces se obtendrá resultados diferentes con los dos vegetales (Lechuguín y Carrizo), mejores resultados se obtuvo con el lechuguín, ya que presento valores mas bajos y al tratarse de este parámetro es mejor que los resultados sean bajos.

El Coeficiente de varianza para este parámetros es de 3.4%, lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 3.4 veces será diferentes, al ser un valor bajo, nos muestra al realizar una nueva investigación con los factores A y B del presente estudio, existe un 3.4% de probabilidades de que los resultados sean diferentes.

Al aplicar Prueba de Tukey (ANEXO B, Tabla B-12) muestra que existe diferencia significativa al 5% de confianza, en todos los tratamientos,

entonces se obtendrá resultados diferentes tanto con el lechuguín como con el carrizo, y en diferentes rangos de tiempo, es decir de 0 a 10 días existe diferencia significativa, así como también de 10 días a 20 días y de 20 días a 30 días, entonces el tiempo es un factor que influye en los resultados de STD.

#### **4.1.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Anexo, gráfico C-9 y C-10)**

Comparado con el límite máximo permisible (250mg/l) según el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), el agua descontaminada de la planta El Peral cumple la norma desde el inicio, durante el mes de evaluación disminuye aún más, especialmente en el estanque que contiene lechuguín, en el caso del carrizo en el segundo muestreo disminuye pero en los muestreos posteriores se incrementa la DQO, pero no excede el límite permisible.

Analizando los valores finales, (52 mg/l) en el estanque de lechuguín y en el del carrizo (83mg/l) se puede afirmar que disminuye la contaminación, en vista de que la DQO es uno de los principales indicadores de la salud de un cuerpo de agua natural. La presencia de oxígeno denota condiciones aerobias en el líquido y la ausencia de olores desagradables, La DQO es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, entonces a menores valores de DQO, menores condiciones aerobias y por tanto menor olor desagradable.

En el ANEXO B la Tabla B-13 muestra las diferentes concentraciones de DQO, ya que en los diferentes muestreos varían según el tiempo, debido a que disminuye la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, ésta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua.

De acuerdo al ANEXO B, Tabla B-14 al realizar el Análisis de Varianza se determinó que en el factor B, presentan diferencia significativa al utilizar un nivel de confianza del 95%.

El Coeficiente de varianza para este parámetros es de 27.3% lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 27 veces será diferentes, entonces este parámetro tiene una mayor probabilidad de obtener resultados diferentes a los obtenidos en la presente investigación.

En el ANEXO B, Tabla B-15, se presenta la Prueba de Tukey, donde la observación es, que todos los tratamientos presentan diferencias significativas, entonces ningún valor de DQO es igual al otro, en el caso del lechuguín los resultados son positivos ya que los valores disminuyen en función del tiempo, no así en el caso del carrizo en el que existió diferencia entre los valores de DQO pero no se consiguió el descenso puesto que las dos primera semanas los valores bajan, pero en el análisis del agua a la tercera y cuarta semana el DQO incrementa, entonces el lechuguín es mas eficaz que el carrizo.

#### **4.1.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (Anexo, gráfico C-11 y C-12)**

De forma similar a la DQO los valores de la DBO<sub>5</sub> son aceptables ya que se encuentran por debajo del límite máximo permisible (100mg/l) y en el transcurso de la primera etapa en el que se evaluó continua un decremento en los dos estanques de manera que al final de esta etapa el lechuguín reporto un valor de 6.5 mg/l que es muy bajo, y 10.5 mg/l en el carrizo, lo que indica que existe menor cantidad de microorganismos que utilizan oxígeno disuelto para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua, con esto se comprueba que el



tratamiento de depuración de agua es eficaz ya que a mayor  $DBO_5$ , mayor grado de contaminación.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la cantidad que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La  $DBO_5$  es el parámetro más usado para medir la calidad de las aguas servidas y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.

Los valores mostrados en el ANEXO B, Tabla B-16, indican que cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica presente, mayor será la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos, por lo que con el transcurso del tiempo disminuyo el valor de  $DBO_5$ .

De acuerdo con el ANEXO B, Tabla B-17, con el Análisis de Varianza se demostró que los factores A y B presentaron diferencias significativas, al trabajar con un nivel de confianza del 95%.

El Coeficiente de varianza para la demanda Bioquímica de oxígeno es de 6.6% lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 7 veces será diferentes.

Al aplicar la Prueba de Tukey, (ANEXO B, Tabla B-18), mostro resultados de diferencia significativa solo en el factor B a los 10 días con un valor medio de 178.0mg/l, los demás valores no presentan diferencias significativas ya que son muy bajos en comparación el valor permisible, tanto en el lechuguín como en e carrizo los resultados son similares.

#### **4.1.7 Detergentes (Anexo, grafico C-13 y C-14)**

Este parámetro es de gran importancia, pues en concentraciones altas dificulta la vida acuática inhibiendo el proceso de la fotosíntesis y originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte. Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana.

Los niveles iniciales de detergentes en las aguas de la estación El Peral, fueron elevados, pues siendo el límite máximo permisible 0,5 la muestra inicial reporto un valor de 1,24, es decir más del doble, una vez aplicada la fitorremediación, en la segunda muestra que fue tomada 10 días después, no se consiguió una reducción mínima de detergentes, pero en el tercero y cuarto muestreo ya se obtuvo datos cercanos al permisible, el resultado de la muestra del estanque del lechuguín ya entra en el rango permitido, en el carrizo se necesita un poco más de tiempo.

Según los valores mostrados en el ANEXO B, Tabla B-19, indican que el tiempo es un factor ventajoso para la reducción de la concentración de detergentes, ya que con el transcurso del tiempo, disminuyó los valores de Detergentes.

De acuerdo con el ANEXO B, Tabla B-20, con el Análisis de Varianza se demostró que el factor B presento diferencias significativas, al trabajar con un nivel de confianza del 95%.

El Coeficiente de varianza para la demanda Bioquímica de oxígeno es de 20% lo que indica que por cada 100 veces que se repita la prueba 20 veces será diferente

Al aplicar la Prueba de Tukey, (ANEXO B, Tabla B-21), en los tratamiento b2 y b3 presentaron valores diferentes de detergentes, con respecto al

tiempo, estos resultados se obtendrá con cualquiera de los dos vegetales.

#### **4.1.8 Índice de Coliformes totales (Anexo, gráfico C-15 y C-16)**

Las bacterias totales presentaron un alto número, siendo estas uno de los parámetros más importantes en vista de que son causantes de varios impactos ambientales negativos, pero al finalizar el mes de investigación se logró cumplir la norma ambiental.

Debido a que se trata en su mayoría de aguas residuales de uso doméstico, es decir de agua de inodoros, cocina, lavandería entre otras actividades diarias, es lógico pensar que el contenido bacteriano es alto, y así fue, el índice de coliformes Totales inicial fue de  $5.4 \times 10^6$  UFC/100ml este valor es demasiado elevado comparado con el permisible que tan solo es de 5000 UFC/100ml, a los 20 días de someter esta agua al proceso de fitirremediación se logró cumplir la norma, con valores muy bajos, en el estanque que contuvo carrizo finalmente presentó un aumento en este índice debido a la descomposición del vegetal, lo que nos indica que hasta un cierto tiempo este vegetal dará buenos resultados, pero en tiempos largos los resultados se invierten, la causa puede ser que el vegetal no se adaptó al medio y requiera otras condiciones para su correcta acción y prolongación de la vida del vegetal.

Los valores mostrados en el ANEXO B, Tabla B-23, mostraron significancia al 95%, en el factor B, por esto se aplicó la prueba de Tukey, ANEXO B, Tabla B-24, esta muestra que los resultados no tienen diferencia significativa.

#### **4.1.9 Índice de Coliformes Fecales (Anexo, gráfico C-17y C-18)**

El patrón de abundancia presentado por estos organismos es similar al observado para el caso de los coliformes totales, inicialmente los datos reportados fueron elevados, luego de la acción de los vegetales se redujo de manera abismal, con esto se cumplió el límite permisible (2500 UFC/100ml), esta disminución se puede deber a que la difícil capacidad de los coliformes fecales para reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos está condicionada a la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, entre otros.

El índice de abundancia en estas bacterias fue similar al de las coliformes totales, en el presente caso en su inicio reporto un valor promedio de  $2.8 \times 10^5$  UFC/100ml y que comparado con el valor permisible que es 2500 UFC/100ml el dato obtenido en el análisis mayor, pero esto no es extraño tratándose de aguas contaminadas provenientes de usos domésticos, con la aplicación de la propuesta durante un mes, se logró reducir un considerable índice de estas bacterias, con lo que se cumplió la norma ambiental.

Los valores mostrados en el ANEXO B, Tabla B-26, mostraron significancia al 95%, en el factor B, por esto se aplicó la prueba de Tukey, ANEXO B, Tabla B-27, esta muestra que los resultados no tienen diferencia significativa en ningún caso.

#### **4.1.10 Nitrógeno Total (Anexo, gráfico C-18 y C-19)**

Según la norma TULAS el límite de Nitrógeno presente en aguas es de 15mg/l, norma que no cumple la estación de tratamiento de agua el peral, pues presenta niveles altos de nitrógeno (154.23mg/l) esto se puede deber a la presencia de detergentes y fertilizantes pero principalmente a las excretas humanas, con la acción de los vegetales que funcionan

como filtros se logró reducir a niveles que se encuentran por debajo de los valores permisibles.

En el ANEXO B, Tabla B-29, mostraron significancia al 95%, en el factor B, por esto se aplicó la prueba de Tukey, (ANEXO B, Tabla B-30), esta mostro que los resultados presentan diferencias significativa en los niveles 2,3, y 4 del factor B. finalmente se obtuvo valores mas bajos en el agua del estanqué que contuvo carrizo con un promedio de 6.44 mg/ l en el análisis final de las dos etapas.

#### **4.1.11 Fósforo Total (Anexo, gráfico C-20 y C- 21)**

Este parámetro es uno más de los que rebasan el limite permisible (10 mg/l) pues inicialmente reporto valores (19.7mg/l) altos, con lo que se demuestra que existe baja actividad biológica, se encuentra relacionado con la cantidad de detergentes, el fósforo es un elemento muy importante para el desarrollo de los vegetales, pero en exceso es causa de problemas.

En el segundo muestreo se consiguió disminuir el valor de fósforo pero no lo necesario para cumplir con la norma, durante el tiempo de investigación los valores fueron disminuyendo, con lo que al final se logro obtener datos menores a los admitidos por la norma así: 9.8 mg/l en el estanque que contenía lechuguín y 9.3 en el de carrizo, se consiguió cumplir la norma, en las muestras de los dos estanques, con este hecho se ratifica que la aplicación de cualquiera de estos vegetales es ventajosa para el mejoramiento del agua contaminada.

De acuerdo con el ANEXO B, Tabla B-32, con el Análisis de Varianza se demostró que el factor B presento diferencias significativas, al trabajar con un nivel de confianza del 95%.

Al aplicar la Prueba de Tukey, (ANEXO B, Tabla B-33), en los tratamientos b1 y b3 presentaron valores de diferencias significativas en la concentración de Fósforo, con respecto al tiempo, estos resultados se obtendrán con cualquiera de los dos vegetales puesto que en el Factor A no mostramos diferencias.

#### **4.1.12 Color**

El agua contaminada, inicialmente presentó un color turbio blanquecino debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen, con el transcurso del tiempo se dieron cambios notorios en esta característica física, pues en el caso del estanque que contuvo lechuguín se pudo evidenciar claramente un mejor aspecto en cuanto a la coloración ya que al cabo de pocos días, debido también a la sedimentación se presentó transparente y cristalina, lo que en el estanque del carrizo fue contrario, ya que por la descomposición del vegetal el agua tomó un color verdoso, con presencia de larvas.

#### **4.1.13 Olor**

Los compuestos tanto químicos como orgánicos presentes en el agua pueden dar olores muy fuertes, aunque estén en muy pequeñas concentraciones, es por esto que en el inicio de la investigación el agua emana olores muy fuertes, pero al transcurrir el tiempo el olor se redujo en los dos casos de vegetales pues disminuyeron los compuestos contaminantes. Al análisis este parámetro físico se detectó que debido a las heces fecales y otros contaminantes que llegan en el agua tiene un olor desagradable, en la muestra del estanque de lechuguín se produjeron cambios provechosos puesto que estuvo con menor emisión de olores, en el estanque donde se encontraba el carrizo se evidenció disminución de olor pero no se logró anular este, debido a la descomposición del vegetal.

## 4.2 INTERPRETACIÓN

Realizando un análisis global entre el agua de salida de la estación de tratamiento El Peral y el agua que pasa por los estanques vegetales se pudo comprobar que existe disminución de la carga de contaminantes, según los resultados de Sólidos totales, Demanda Química de Oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, Índice de bacterias coliformes tanto fecales como totales, Nitrógeno y fosforo, además de parámetros físicos como color y olor, en el agua que se sometió a fitorremediación, especialmente en el estanque que contuvo lechuguín, ya que el vegetal se adaptó rápidamente al medio por lo cual su acción fue eficaz en todos los parámetros; a pesar que en algunos no mostró diferencias significativas se logró cumplir con la norma ambiental. Al contrario, no se puede decir lo mismo del carrizo debido a que al inicio del proceso, mostró mejora en los parámetros, pero con el transcurso del tiempo se malogró el vegetal debido probablemente a las características y carga de los contaminantes presentes en las aguas servidas y/o por las características de los estanques empleados en la investigación.

### 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

**Factor A:** Tipo de vegetal

**Factor B:** Tiempo

**Tabla 11.** Tabla comparativa de valor F calculado y F de tablas

Parámetro	Factor	F calculado	F Tablas	Signf.
Temperatura	A	0,23	0,6398	
	B	6,27	0,097	*
Potencial Hidrogeno	A	10,85	0,0072	*
	B	1,30	0,3242	*
Conductividad	A	1,18	0,3011	*
	B	17,83	0,0002	*
Sólidos Disueltos totales	A	7,25	0,0209	*
	B	52,82	0,0000	*
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	A	0,93	0,3562	*
	B	560,31	0,0000	*
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	A	2,23	0,1639	*
	B	7,99	0,0042	*
Detergentes	A	0,04	0,8525	
	B	27,22	0,000	*
I. Coliformes Totales	A	0,05	0,8192	
	B	3,38	0,0578	*
I. Coliformes fecales	A	0,85	0,3754	*
	B	1,12	0,3836	*
Nitrógeno	A	0,49	0,4964	
	B	182,36	0,000	*
Fósforo	A	0,36	0,5626	
	B	18,54	0,0001	*

**Elaborado por:** Liliana Fiallos,2011

**Fuente:** Programa estadístico Statgraphics Plus

Para la verificación de hipótesis, se analiza la tabla 11 donde se compara los F calculados con los F de tablas. Para esto se tomó en cuenta la siguiente condición:

***Si el F calculado es mayor (>) que el F de tablas se rechaza la hipótesis nula.***



Por tanto, a un nivel de confianza del 95% existe diferencia en las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas contaminadas, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la Hipótesis de Investigación que afirma que: “La Innovación Biológica en la depuración de Aguas Contaminadas es positiva para disminuir la Contaminación en la Estación “El Peral”, EMAPA-Ambato”.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

**5.1.1** En esta investigación se aplicó la innovación biológica para depuración de aguas contaminadas provenientes del sector de Ficoa – La Delicia, que son transportadas por los drenajes de alcantarillado hacia la estación de tratamiento de aguas “El Peral”, de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA), tomando en cuenta que nuestra ciudad, como la gran mayoría de las ciudades en el mundo ha ido de menos a más queriendo decir con ello que en un principio la contaminación era poca pero que en todo caso con el transcurso del tiempo la ha crecido a niveles extremos, encontrándose esta en nuestro entorno afectando nuestras vidas en forma directa pues existen varias fuentes de contaminación generadas por el hombre a los recursos agua, aire y tierra. Todo ello se debe no solamente al gran crecimiento económico de la ciudad, sino también a otros factores como lo es el incremento poblacional y al deseo de satisfacer las necesidades muchas veces desmedidas con poco o ningún control de la autoridad correspondiente, la innovación biológica aplicada en esta investigación consistió en complementar el sistema de tratamiento existente, con la construcción de dos estanques vegetales en los que se ejecutó la Fitorremediación, con dos tipos de vegetales, “Lechuguín” (*Eichhornia crassipes*) y “Carrizo” (*Phragmites australis*), además se tomó en cuenta los valores permisibles según el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS, 2010), con esto se determinó que, inicialmente las aguas contaminadas no cumplían con los valores

permitidos, para ser descargados a un efluente de agua dulce como es en este caso el río Ambato, con la fitorremediación se consiguió reducir los 11 parámetros analizados como indicadores de calidad del agua, puesto que al cabo de 30 días se redujeron los índices de contaminación hasta cumplir con la norma, por lo que se puede afirmar que la fitorremediación aplicada, fue positiva para el mejoramiento del agua, y así se pudo descargar al río un agua con un índice de contaminación aceptable según la norma ambiental (TULAS).

**5.1.2** Una vez finalizada la investigación se detallan los componentes del sistema de depuración utilizado en la Estación El Peral de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA). La estación de tratamiento de aguas contaminadas recoge la mayor parte de caudal proveniente de aguas servidas de uso doméstico y de ciertas industrias del sector de Ficoa. El sistema de depuración de aguas como indica la imagen ANEXO D, Imagen D-21, se encuentra compuesto inicialmente por una *Caja de entrada*, construida con hormigón en una dimensión de 1.4m<sup>2</sup>, encargada de recibir el agua contaminada para entrar al sistema de tratamiento, en esta caja se logra mínima sedimentación y pasa a los siguientes procesos que mejoran las condiciones de las aguas, seguidamente se encuentra un *Desarenador*: tiene como función remover las partículas de mayor tamaño, tiene como objetivo eliminar las partículas más pesadas que el agua, y que tienen un tamaño superior a 200 micras, esta construido en un área de 3m<sup>2</sup>, posteriormente se ubica el Tanque séptico (*tratamiento anaerobio*), en esta fosa la parte sólida de las aguas servidas es separada por un proceso de sedimentación, y a través del denominado “proceso séptico” se estabiliza la materia orgánica contenida en el agua para lograr transformarla en un barro. El tanque séptico esta construido con concreto reforzado a partir de

una gran caja rectangular, que posee un compartimiento que se encargan de recibir los excrementos y las aguas grises. Las tres cuartas partes de este tanque se encuentra enterrado y cubierto por cuatro capas de concreto ubicadas en sus esquinas. Además cuenta con dos válvulas que permiten el vaciado para evitar la acumulación de los lodos, a continuación se localiza la *Caja filtro* construida de hormigón en un área de 3m<sup>2</sup> contiene piedra bolona, material que ofrece gran cantidad de superficie en un volumen reducido. El agua circula a través de los espacios entre las piedras, momento en el que se adhieren materiales a la superficie de las piedras, el ingreso del agua es por la parte inferior, de allí inicia el recorrido del agua, en forma ascendente, finalmente se encuentra el *Pozo de salida*, construido en el sector sur de la planta, recoge el agua de salida del filtro y lleva hacia la salida posterior de descarga al río Ambato.

- 5.1.2** Se rediseño y puso en funcionamiento el sistema de depuración biológico propuesto (ANEXO D, Imagen D-21), que consistió en construir dos estanque mismos que contuvieron componentes innovadores como: “Lechuguín” (*Eichhornia crassipes*), y Carrizo” (*Phragmites australis*), que son especies acuaticas flotantes, estos componentes son de fácil adquisición pero sobre todo de bajos costos , con ellos se mostraron cambios positivos en las aguas contaminadas, en el transcurso de la investigación por lo que finalmente se consiguió cumplir la norma ambiente según el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS, 2010), en los dos estanques.

**5.1.3** De acuerdo a la evaluación del funcionamiento del sistema de depuración implementado se puede concluir que:

- Es positiva la fitorremediación en aguas contaminadas, tomando en cuenta los resultados de los 11 parámetros monitoreados en el estanque durante 30 días, tanto con “Lechuguín” (*Eichhornia crassipes*), como con Carrizo” (*Phragmites australis*), en las dos etapas se logró reducir la contaminación, pero en el caso del lechuguín se logró mejores resultados tanto físicos como bioquímicos por lo que se puede afirmar que este vegetal posee mayor capacidad de depuración además de adaptarse fácilmente al medio en el que se lo coloque, inicialmente existieron parámetros que no cumplían la norma ambiental para que se pueda descargar en este caso al río Ambato, pero en el transcurso de la investigación estos parámetros se redujeron y se logró cumplir la norma, además se logró conocer de mejor manera las condiciones para el desarrollo y acción de los vegetales fitorremediantes.

**5.1.4** Se realizó un estudio económico del sistema de depuración empleado, concluyendo que comparado con otros métodos, este sistema es económicamente bajo y se puede conseguir el mismo porcentaje de remoción de contaminantes, el costo total de la readecuación para la aplicación del sistema de depuración empleado es de **138.16** dólares según la Tabla A-5. del Anexo A, El sistema de fitorremediación es un método eficaz para depuración de aguas contaminadas con un índice de contaminación alto y los vegetales al ser de fácil obtención y de muy bajo costo, muestran un método apto para aplicarlo en las industrias con el fin de brindar un tratamiento de residuos líquidos, sin pensar en el alto costo que esto acarrea ya que esta investigación muestra claramente que no es así, y que no se requiere grandes inversiones para este propósito.

## **5.2 Recomendaciones**

- 5.2.1** De acuerdo a los resultados de la investigación realizada, para estaciones de tratamiento de aguas servidas como la de El Peral, es recomendable emplear dos estanques vegetales: el primer estanque con la planta acuática flotante “Lechuguín” y luego un segundo estanque con “Carrizo”; en este caso, previo al inicio del funcionamiento del sistema, es indispensable trasplantar plántulas de carrizo en tierra fértil en la base del estanque y esperar hasta que crezcan y se desarrollen plenamente las plantas.
- 5.2.2** Es de suma importancia readecuar la estación de El Peral, en vista que el sistema actual no brinda los resultados necesarios para cumplir la norma ambiental de descarga hacia un río, por tal motivo es necesario rediseñar este método, y a la vez realizar mantenimientos continuos de la estación, ya que mostro un total descuido de parte de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, institución a cargo de esta área.
- 5.2.3** Es recomendable, luego de visualizar los resultados de la presente investigación, complementar el sistema actual añadiendo la innovación (fitorremediación), para disminuir al máximo los contaminantes antes de descargar las aguas en el rio Ambato, además es recomendable colocar una rejilla en la caja de ingreso de las aguas servidas a la estación de El Peral, con el fin de retener sólidos de gran tamaño, se requiere también colocar letreros dentro y fuera de la estación “El Peral”, para identificar al lugar como una unidad de tratamiento de aguas servidas.

**5.2.4** Sería aconsejable que a la brevedad posible se implemente el área de análisis de aguas residuales en el laboratorio de control de calidad de la EMAPA, para un monitoreo periódico de los índices de contaminación en estaciones de tratamiento como la de “El Peral”.

**5.2.5** Es hora de hacer conciencia por la vida desde los mas pequeños en la aulas de clases hasta los mayores desde todos los rincones para que con nuestra práctica positiva con relación al entorno y nuestro buen ejemplo.

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA

#### 6.1. Datos Informativos

<b>Título</b>	Fitorremediación de aguas servidas con la utilización en secuencia de estanques con especies vegetales “Lechuguín” ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) y “Carrizo” ( <i>Phragmites australis</i> ) en la estación de tratamiento “El Peral” de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA).
<b>Unidad ejecutora</b>	Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ing. Bioquímica.
<b>Beneficiario</b>	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA)
<b>Director del Proyecto</b>	Dr. Ing. Ramiro Velasteguí, PhD
<b>Personal Operativo</b>	Egda. Liliana Fiallos
<b>Tiempo de duración</b>	6 meses
<b>Lugar de Ejecución</b>	Estación de tratamiento de aguas servidas “El Peral”

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011



## 6.2. Antecedentes de la propuesta

En México sólo 23 por ciento de las aguas servidas reciben algún tipo de tratamiento y, a pesar de ser procesadas, no es posible sustraer sustancias químicas y metales pesados como cadmio, arsénico cromo y plomo. Investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), toman a los humedales artificiales como una alternativa para atender este problema ya que en ellos se llevan a cabo procesos físicos y bioquímicos para la transformación de compuestos orgánicos disueltos. Son ecológicamente sustentables que, a partir de plantas, puede disminuir la presencia de metales en el agua hasta en un 99 por ciento. Además se dice que a pesar del tratamiento primario donde se eliminan residuos sólidos, detergentes, colores y aromas, la calidad de agua es insuficiente (Solano, 2007).

La especialista precisó que un sistema eficiente resulto la siembra de carrizo (*phragmitis australis*) y tifa latifolia conocida como tifa en un medio natural como grava para que se haga una bio-acumulación en las paredes de las rocas y se depure el agua a partir de la flora bacteriana, la cual arroja el líquido depurado en un sistema de tratamiento natural. Para esto se requiere plantas que enraizarán en esos soportes, los cuales una vez que crezcan hacen la función de la fitorremediación y depuración del agua. Este tipo de humedales pueden depurar metales pesados como cadmio, arsénico cromo y plomo que son los más abundantes (Solano, 2007)

Una línea de investigación consistió justamente en estudiar la capacidad del *P. australis* de acumular metales pesados, propiedad que en Europa ha permitido recuperar vastas áreas de suelos contaminados, entre ellas las zonas plagadas de polvorines (herencia de la guerra) y/o particularmente en áreas industriales y/o lagunas, cuyas aguas contienen elementos pesados de carácter tóxico (Jordán, 2006)

En el campo ambiental, se puede considerar como una especie valiosa en el tratamiento de aguas residuales, en la absorción de contaminantes, como complemento alimenticio para animales domésticos y para utilizarla en bioensayos con el fin de determinar el efecto negativo de sustancias tóxicas en el agua.

Estudios realizados con lechuguín (*Eichhornia crassipes*) en varios países generan sin duda una gran motivación para que se realice investigación con esta promisoriosa planta, la cual puede considerarse como una especie valiosa en el tratamiento de aguas residuales, en la absorción de contaminantes, como complemento alimenticio para animales domésticos y para utilizarla en bioensayos con el fin de determinar el efecto negativo de sustancias tóxicas en el agua (Núcleo, 2007)

Tomando como referencia la investigación realizada en la cual muestra que la fitorremediación es eficaz, con la utilización del carrizo y el lechuguín, gracias a la identificación del índice de contaminación basado en los parámetros como: Demanda química de oxígeno, Demanda Bioquímica de oxígeno, Detergentes, Nitrógeno, Fósforo, Índice de Coliformes Totales y Fecales, se puede afirmar que la aplicación del método de fitorremediación en condiciones adecuadas para su desarrollo es positivo.

### **6.3. Justificación**

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda.

Las aguas servidas plantean el mayor problema con que se enfrenta la humanidad en los próximos años. En los países con escasas disponibilidades de agua dulce, la cuestión es más aguda. (Núcleo, 2007)

Las aguas contaminadas urbanas producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen, y a que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar. La capacidad de autodepuración de una masa de agua es siempre limitada, mientras que el vertido de residuos a ella no tiene freno en el momento actual. Es decir, el volumen de aguas servidas depuradas no alcanza en ningún punto el nivel que debería tener hasta compensar la diferencia que existe con la capacidad de autodepuración de los ríos. (Seoanez, 2007)

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. Si se entiende por desarrollo sostenible aquel que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas.

Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente alterando la vegetación y la calidad de las aguas.

Nuestro mundo por muchos años ha sido descuidado y maltratado por nosotros los seres humanos. La industrialización y el modernismo son algunos factores que ayudan a la contaminación de nuestro ambiente. (Núcleo, 2007)

Consideradas como hierba silvestre por el común de la gente, el *Phragmites australis* (nombre científico del carrizo o cañavera, una gramínea que mide entre uno y dos metros de alto) tiene potenciales que

hasta hace poco eran insospechados para nuestra actividad económica. Particularmente, para la fitorremediación de diferentes residuos derivados de procesos industriales. Esto, dado que se trata de una planta que es capaz de acumular metales pesados, así como sus distintos sobrantes.

La alternativa de pantanos son una alternativa de tratamiento y desecho de aguas contaminadas con el menor costo.

Las plantas acuáticas tienen por función soportar componentes del ambiente acuático que mejora la capacidad y/o confiabilidad del tratamiento de aguas residuales.

Con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar estos sistemas de tratamiento como una alternativa ecológica y económicamente viable, tanto para el tratamiento de los efluentes municipales domésticos como industriales. Las características que deben contar las plantas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas servidas son las siguientes: alta productividad, alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes, alta predominancia en condiciones naturales adversas y fácil cosecha (Roldán, 2002)

## **6.4. Objetivos**

### **6.4.1. Objetivo General**

Realizar un estudio de fitorremediación utilizando “Lechuguín” (*Eichhornia crassipes*) y “Carrizo” (*Phragmites australis*), en secuencia en la planta de tratamiento “El Peral” de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA).

## **6.4.2 Específicos**

- 6.4.2.1** Analizar la estabilidad de los vegetales (Lechuguín y Carrizo) frente a condiciones de carga de contaminantes presentes en las aguas servidas de la estación El Peral.
- 6.4.2.2** Determinar las mejores condiciones de tiempo para fitorremediación con plantas acuáticas.
- 6.4.2.3** Realizar un monitoreo de los parámetros temperatura, pH, conductividad, DQO, DBO y metales pesados, del agua en tratamiento.

## **6.5. Análisis de Factibilidad**

La investigación a desarrollarse es de tipo investigativo y tecnológico ya que con ello se puede confirmar la eficiencia de la fitorremediación como método para depuración de aguas contaminadas.

El análisis de factibilidad es además de carácter económico, ya que se podrá optar por el uso vegetales de fácil adquisición en nuestro medio, como en el caso del Lechuguín y Carrizo, ya que a lo largo del territorio ecuatoriano se puede encontrar en forma abundante, en el tratamiento de aguas de diferentes fuentes de contaminación: domésticas o industriales, tomando en cuenta el plano ambiental, la presente investigación es positiva ya que se propone un buen tratamiento a los residuos con productos naturales y de bajo costo.

**Tabla 1.** Análisis económico de la Propuesta

<b>RECURSOS HUMANOS</b>	<b>UTA</b>	<b>GRADUANDO</b>
Tutor	250	120
Graduando	0	0
<b>RECURSOS FÍSICOS</b>		
Materia Prima	0	50
Análisis físico – químicos y Microbiológicos	1200	0
Material de Escritorio	0	80
<b>OTROS RECURSOS</b>		
Transporte	0	150
Imprevistos	0	100
Publicaciones	0	80
<b>Subtotal</b>	<b>1450</b>	<b>580</b>
<b>TOTAL</b>		<b>2030</b>

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

## 6.6 Fundamentación

### 6.6.1 Tratamiento biológico de las aguas servidas

Las aguas servidas son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales (Núcleo, 2007)

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado un tratamiento secundario ya que este está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios.

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO<sub>2</sub> y gas metano, este último se puede separar y quemar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la DBO inicial (Núcleo, 2007)

#### **6.6.2 Carrizo o *Phragmites australis***

Consideradas como hierba silvestre por el común de la gente, el *Phragmites australis* (nombre científico del carrizo o cañavera), tiene potenciales que hasta hace poco eran insospechados para nuestra actividad económica. Particularmente, para la fitorremediación de diferentes residuos derivados de procesos industriales. Esto, dado que se trata de una planta que es capaz de acumular metales pesados, así como sus distintos sobrantes. Es el encargado de retener la materia en suspensión del agua. Con estos sedimentos y con sus propios restos vegetales que caen al fondo irá compactando el suelo hasta convertirlo en una porción de tierra firme (Jordán, 2006)

Los carrizales además de compactar el terreno depuran las aguas funcionando a modo de filtro. Las aguas estancadas proporcionan un suelo limoso con un alto nivel freático idóneo para su crecimiento.

Además de actuar como filtro y como agente colonizador, el carrizo refuerza su importancia ecológica ya que sirve de refugio a diversas especies de animales. (Jordán, 2006).

- Nombre científico o latino: el *Phragmites australis*
- Nombre común o vulgar: Caña comun, Carrizo, Junco gigante, Falso bambú.
- Familia: Poaceae (Gramíneas).
- Origen: Europa meridional, España y Portugal.
- Tamaño máximo 6 metros, de cada nudo sale una única hoja que envaina el tallo.
- Vive en lugares húmedos y encharcados, en acequias y cursos de agua.

Se propaga con gran eficiencia en forma asexual y por semillas, colonizando rápidamente el área donde crece. (Jordán, 2006)

### **6.6.3 Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)**

La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5° y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los 15° y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden además tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5, dado que es una especie flotante y de buen crecimiento, puede cubrir rápidamente la superficie de los cuerpos de agua donde se encuentra e impedir el paso de la luz inhibiendo el crecimiento de otros organismos fotosintéticos (Rook 2002).

Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, negro violáceas cuando son adultas. Las hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas,



provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación. Ofrece un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo, de las heladas (Obando, 2006)

- Nombre científico o latino: *Eichhornia crassipes*
- Nombre común o vulgar: Jacinto de agua, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya, Lirio de agua, lechuga de agua, lechuguín
- Familia: Pontederiaceae (Pontederiáceas).
- Especie flotante de raíces sumergidas. Carece de tallo aparente, provista de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.
- Necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación.
- Multiplicación: mediante división de los rizomas.
- Durante el verano se reproduce fácilmente por medio de estolones que produce la planta madre, llegan formarse verdaderas de gran porte. (Obando, 2006)

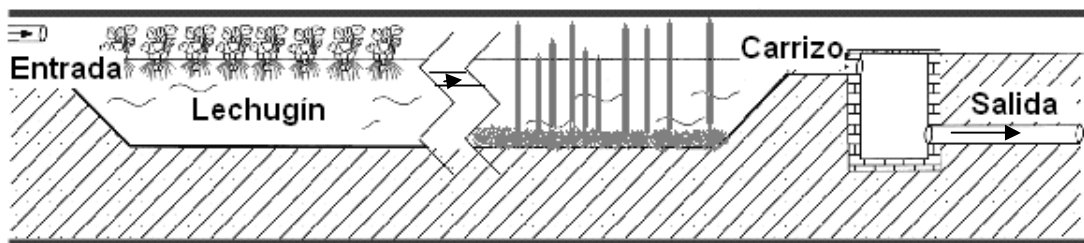
#### **6.6.4 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DEL ESTANQUE**

En cuanto a la dirección del movimiento del agua a través del humedal se consideran los siguientes tipos: horizontal, vertical, flujo superficial y flujo subsuperficial. En cuanto al sustrato, hay sistemas que llevan por debajo del manto de agua una capa de suelo o tierra vegetal para enraizar la vegetación, otros que en perfil emplean exclusivamente un lecho de grava y arena, y otros sistemas únicamente tienen agua.

En esencia, hay tres líneas de desarrollo tecnológico de humedales artificiales, cuyo modo de operación, aun basándose en los mismos

principios biológicos, es diferente. Se trata de los denominados humedales de flujo superficial, los humedales de flujo sub-superficial y los humedales con las plantas flotando sobre la superficie del agua. A este último tipo de sistemas pertenecen los que utilizan plantas naturalmente flotantes, y las que utilizan especies emergentes a las que se les hace flotar. (España, 2006)

**Fig.1 Esquema de un humedal con especies flotantes.**



**Fuente:** España, 2006

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

La principal ventaja que ofrecen estos sistemas es la gran superficie de contacto que tienen sus raíces con el agua residual ya que ésta les baña por completo, lo que permite una gran actividad depuradora de la materia orgánica por medio de los microorganismos adheridos a dicha superficie o por las propias raíces directamente. Como inconveniente principal está la capacidad limitada que tienen de acumular biomasa, ya que los cuerpos de las plantas no llegan a alcanzar una altura significativa, permaneciendo normalmente próximos a la superficie del agua.

En cuanto a la forma del estanque, esta difiere de acuerdo al espacio disponible para el sistema de tratamiento de aguas y también del volumen o caudal de alimentación de aguas residuales que se necesita tratar. En ocasiones, se requiere diseñar un estanque en forma rectangular. Otro diseño muy utilizado son los canales con paredes inclinadas, con un ancho entre 1 – 1.5 m aprox. (España, 2006)

## 6.7 Metodología.

**Tabla #2** Modelo Operativo

Fases	Metas	Actividades	Responsable	Recursos	Presupuesto	Tiempo
1. Formulación de la propuesta	Aplicar fitorremediación utilizando carrizo, para el tratamiento de aguas residuales.	Revisión bibliográfica	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 200	2 meses
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Cronograma de la propuesta.	Pruebas Preliminares de la determinación del grado de contaminación del agua de la planta el Peral.	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 400	1 mes
3. Implementación de la propuesta	Ejecución de la propuesta	Aplicación de la fitorremediación del agua contaminada utilizando lechuguín y carrizo en secuencia.	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 200	1 mes
4. Evaluación de la propuesta	Comprobación de la acción del vegetal.	Comprobación del grado de descontaminación del agua en la estación El Peral	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 800	2 meses

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos.

## 6.8 Administración

La ejecución de la propuesta estará coordinada por los responsables del proyecto Dr. Ramiro Velasteguí y Egda. Liliana Fiallos.

**Tabla 3. Administración de la Propuesta**

<b>Indicadores a mejorar</b>	<b>Situación actual</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Actividades</b>	<b>Responsables</b>
Determinación del grado de contaminación del agua servida.	Dificultad en la adaptación de vegetal posiblemente por carga de contaminantes y/o por las características de los estanques empleados	Caracterizaciones físico químicas y microbiológicas del agua contaminada antes y posterior al ejecución de la propuesta.	Caracterización física, química y microbiológica del agua contaminada de entrada y salida de la estación de tratamiento	Investigador: Dr. Ramiro Velasteguí, Liliana Fiallos.

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos.

## 6.9. Previsión de la Evaluación

Determinación de condiciones favorables para mejorar la acción de los vegetales en la depuración de aguas contaminadas, mediante análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual de la planta de tratamiento “El Peral” de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato

## MATERIALES DE REFERENCIA

### 1. Bibliografía

AGUILAR M, 2001, México D.F., A, “Análisis de Agua - Determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela A La Nmx-Aa-026-1980)

ALEXANDER M. 1994. *Biodegradation and Bioremediation*. Academic Press, San Diego, California,  
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=446>

APHA-AWWA-WPCF, (1992), “Métodos Normalizados – Para el análisis de aguas potables y residuales”, Edición Díaz de Santos, Madrid – España.

BUJAN D, 2004, Análisis del Agua, Materia Recursos Naturales.

BUSTAMANTE X. 2007. Agonizan contaminados los principales ríos de la sierra, Fundación Natura, El Comercio Ecuador.  
[http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id\\_noticia=130197&id\\_seccion](http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=130197&id_seccion)

CANTER L, 1998 Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, McGraw Hill, Madrid

CERVANTES J, 2008, Humedales de lirio acuático (*Eichornia Crassipes*) en aguas Grise, [www.ejournal.unam.mx/cns/no53](http://www.ejournal.unam.mx/cns/no53)

CLARET M, Urrutia R., Ortega R., Abarzua M. , Pérez C. & Palacios M. 2003. Estudio de la contaminación en agua de pozo destinada a consumo humano y su expresión espacial en el secano mediterráneo de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA); Centro

EULA, Universidad de Concepción; Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en:

[http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case\\_study/2076.html](http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_study/2076.html) [consulta 2009-09-26]

CRITES T. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo II. Primera edición. McGrawHill. Madrid. Pp 80-82

CUSATO M, 2002, Fitorremediación: Empleo De Discaria Americana, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, CEQUIPE-INTI

DÍAZ, J. 2008, Agua y Salud Humana. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Ambato, <http://www.EMAPA/Publicaciones.ec>

DÁVILA, M. 2004. *Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales*. Editorial Reverté S. A., Barcelona, España. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=446>

ESPAÑA J. 2006. Estanques de Jacinto de agua [*eichhornia crassipes*] para tratamiento de residuos industriales. Universidad del valle. Ingeniería química. Santiago de Cali. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanquesde-jacinto2.shtml> [consulta 27-10-09]

EWEIS J, Ergas S, Chang D & Edward S. 2000. Principios De Biorrecuperación. Editorial McGraw-Hill. España. Pág:13- 14, 186-189

FALQUEZ J, 2006, Problemas Jurídicos Ambientales que se Presentan en el Centro de la Ciudad de Guayaquil y su Incidencia en el Medio

FREEMAN M. 1998, Harry, Manual de Prevención de la Contaminación Industrial, McGraw Hill, México.

FRERS C, El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales Consultor Ambiental cristianfrers@hotmail.com

GARCÍA, M, 2004 Microbiología de los Alimentos. Pág. 144-148. y otros.

GARAY, J., Panizzo, L., Lesmes, L., Ramírez, G., Sánchez, J. Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos. Tercera edición. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena, 1993.

GIL M. 1998. Ingeniería del Agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno de efluentes con productos xenobioticos Vol.5 Num.4 pp 48

GÓMEZ A, 2004. Contaminación del Agua.

[http://eureka.ya.com/ecositio/cont\\_agua.htm](http://eureka.ya.com/ecositio/cont_agua.htm) Agua tratada descontaminada.

HERRERA N, 2010, Determinación de sólidos en todas las formas, Manejo y Calidad de Aguas, Practica 1.Unidad Guasave

JORDAN M, 2006, El poder del *Phragmites australis*, la Justus-Liebig-Universidad de Giessen, Alemania

[http://www.bio.puc.cl/bionoticias/bn\\_noticias\\_2006\\_46.htm](http://www.bio.puc.cl/bionoticias/bn_noticias_2006_46.htm)

LANDAVERDE M, 2009, Fosa séptica,

<http://www.arqhys.com/construccion/septico-tanque.html>

LARA F. y PIEDRA J. 2009. ISO 14001 Medio Ambiente. Art. 3; BSI, [http://www.bsigroup.com.mx/es-mx/Auditoria-y-Certificacion/Sistemas-de-Gestion/Normas-y-estandares/ /](http://www.bsigroup.com.mx/es-mx/Auditoria-y-Certificacion/Sistemas-de-Gestion/Normas-y-estandares/),

LAWRENCE H. Keith. 1996. Compilation of EPAs. Sampling and Analysis Methods. Second Edition. Editorial Lewis.USA

LUJÁN A. 2000. Las algas, indicadores de la calidad del agua, Fac. de Ciencias Exactas, Dpto. de Ciencias Naturales, UNRC. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

MARTINEZ C, 2009, Sistema de tratamiento de aguas, Desarenador, <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html>

MAZZEO C, 2006, Instituto Bernardino Rivadeneira, Noticias científicas y tecnológicas CYTA-Instituto Leloir [http://www.llave.connmed.com.ar/portalnoticias\\_vernoticia.php?codigonoticia=1042](http://www.llave.connmed.com.ar/portalnoticias_vernoticia.php?codigonoticia=1042)

MEAS Y, Núñez R, Olguín E, Ortega R. 2004. Biotecnología y biología molecular. Fitorremediación Fundamentos y Aplicaciones.

MEDINA R, Juanes de la Peña J, 2006 Vigilancia de las aguas litorales. Período 2005-2006. TOMO I. Aguas de Transición

MENÉNDEZ J, 2008, Reducción de DQO, Oviedo – Asturias N°3, <http://www.hidritec.com/doc-dqo.htm>

METCALF & Eddy . 1995. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/interamericana de España S.A. pp 14-85



MORENO G, 2003. Toxicología Ambiental. *Evaluación de riesgo para la salud humana*. Editorial McGraw-Hill /Interamericana de España, Madrid, España. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=446>

NARVÁEZ I., (2006), "Manejo Sustentable de los Recursos en la Región Amazónica Ecuatoriana. La protección ambiental en la Industria", *Revista Industria y Sociedad*", No. 8, Págs. 151-152.

NAVARRO Y. 2002 Tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales.

NEVEL B., WRIGTH R. 1999. Ciencias Ambientales. Editorial Prentice Hall.

NORMA ISO 14001:2004, Norma ISO 14001:2004, Sección 3.11

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: INEN 2 169: 98. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: INEN 2 176: 98. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.

NÚÑEZ R, 2004, Fitorremediación bioadsorción para el uso sustentable del agua,  
[http://suel.wikispaces.com/file/view/Fitorremediacion\\_Fundam\\_Aplic.pdf](http://suel.wikispaces.com/file/view/Fitorremediacion_Fundam_Aplic.pdf)

OBANDO J, 2006, Aspectos teóricos de *Eichhornia crassipes*, Universidad del Valle, Santiago de Cali.

<http://www.infojardin.com/fichas/acuaticas/eichhornia-crassipes-jacinto-de-agua-camalote-camalotes.htm>

ORTEGA C, 2002, Reutilización de aguas residuales en España, Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, Agua potable para comunidades rurales, rehusó y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas Capítulo 19.

OROZCO C, Pérez A, Gonzales M, Vidal F & Alfayate J. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Edit. Thompson. Pp 87 – 97

“Contaminación Ambiental una visión desde la Química”, (2007), Editorial Thomson, Tercera Edición, Madrid –España, Págs. 281-287.

POLÍTICA DE AGUAS, 2005, Manual en Fitodepuración, Actas Del Encuentro Internacional Sobre Fitodepuración, Tecnología Filtros De Macrofitas En Flotación, Unión Europea

RAMÍREZ, A, 2004, Recursos Naturales en Grave Deterioro. [http://www.cepredenac.org/05\\_nove/a\\_prensa/2004/mar\\_04/mar\\_04d.htm](http://www.cepredenac.org/05_nove/a_prensa/2004/mar_04/mar_04d.htm)

REPÚBLICA DEL ECUADOR. Registro Oficial No. 74, 10 de Mayo del 2000. Valores Máximos Permisibles de los Indicadores de Contaminación y Parámetros de Interés Sanitario para Descargas Líquidas.

RODIER, J. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona, 1981.

ROMERO J. 2002. Tratamiento de Aguas Residuales. 2da Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá 2002. Pág. 29

“Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño”, 2007, Tercera Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, Págs. 18-23, 50-58, 62-65.

SEOANEZ , M. 2007, Aguas residuales urbanas, Tomo II, Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento, MUNDI-PRENSA, Eusko Jaularitzza-Gobierno Vasco.

SOLEDAD B, 2009, Contaminación del agua. Riego ecológico, económico y social.

SOLANO, A. Especialistas ofrecen humedales para zona lacustre de Xochimilco Diario de México, nacional, 2007

TAPIA C, 2009, “Ensayos De Descontaminación De Aguas Residuales, Mediante La Utilización De Plantas Acuáticas, En Sistema De Pantano” Universidad Técnica Particular De Loja, Ecuador

TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria), Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

VÁSQUEZ A. 1993. Ecología y Formación Ambiental. McGraw-Hill. México. Pp 12-13

VELASTEGUÍ, J.R. 2009. Apuntes del curso de Ingeniería Ambiental. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica. Ambato, Ec. v/v.

VILLEGAS M, Vidal E, 2009, Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia. 1983-2009 Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería Décima Cohorte Medellín

**ANEXOS**

## **Anexo A**

### ***TABLAS DE RESULTADOS***

**PRIMERA ETAPA**

**Tabla A - 1.** Resultados de los análisis realizados durante un mes en agua del estanque que con lechuguín

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADOS				LIMITE PERMISIBLE
			0 DIAS	10 DIAS	20 DIAS	30 DIAS	
Temperatura	°C		18,30	18,30	19,10	18,20	<35
pH			7,62	8,05	7,86	07,35	
Conductividad	us/cm		623,00	539,00	465,00	365,00	
Sólidos disueltos totales	mg/l		305,00	264,00	228,00	179,00	
DQO	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5220 D	194,00	70,00	58,00	54,00	250,00
DBO5	mg/l	APHA 5210 B	58,00	21,00	12,00	4,60	100,00
Detergentes	mg/l	APHA 5540 C	1,24	0,98	0,32	0,28	0,50
Índice de Coliformes Totales	NMP/100ml	APHA 9221 B	5,4 x10 <sup>6</sup>	1,6 x10 <sup>6</sup>	110,00	240,00	5000,00
Índice de Coliformes Fecales	NMP/100ml	APHA 9221 C	2,8 x10 <sup>5</sup>	2,2 x10 <sup>5</sup>	3,3x10 <sup>3</sup>	33,00	2500,00
Nitrógeno Total	mg/l	APHA 4500 Norg C	154,23	45,42	20,34	8,16	15,00
Fósforo Total	mg/l	APHA 4500 PC	19,70	16,20	10,00	1,36	10,00

Limite permisible según: *Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria* (Tabla 1. TULAS).

**Fuente:** Laboratorio de control de calidad de aguas (EMAPA)- Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química, (UCE)

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

**Tabla A - 2.** Resultados de los análisis realizados durante un mes en agua del estanque que con carrizo.

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADOS				LIMITE PERMISIBLE
			0 DIAS	10 DIAS	20 DIAS	30 DIAS	
Temperatura	°C		18,30	18,20	18,90	18,10	<35
pH			07,62	08,34	09,33	09,97	
Conductividad	us/cm		623,00	559,00	507,00	443,00	
Sólidos disueltos totales	mg/l		305,00	274,00	248,00	217,00	
DQO	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5220 D	194,00	63,00	133,00	182,00	250,00
DBO5	mg/l	APHA 5210 B	58,00	19,00	15,00	11,20	100,00
Detergentes	mg/l	APHA 5540 C	01,24	00,93	0,42	0,31	0,50
Índice de Coliformes Totales	NMP/100ml	APHA 9221 B	$5,4 \times 10^6$	$3,5 \times 10^4$	920,00	$2,2 \times 10^3$	5000,00
Índice de Coliformes Fecales	NMP/100ml	APHA 9221 C	$2,8 \times 10^5$	350,00	$2,4 \times 10^4$	170,00	2500,00
Nitrógeno Total	mg/l	APHA 4500 Norg C	154,23	39,23	07,12	1,18	15,00
Fósforo Total	mg/l	APHA 4500 PC	19,70	15,60	4,70	2,19	10,00

Limite permisible según: *Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria* (Tabla 1. TULAS).

**Fuente:** Laboratorio de control de calidad de aguas (EMAPA)- Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química, (UCE)

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

## SEGUNDA ETAPA

**Tabla A - 3.** Resultados de los análisis realizados durante un mes en agua del estanque que con Lechuguín.

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADOS				LIMITE PERMISIBLE
			0 DIAS	10 DIAS	20 DIAS	30 DIAS	
Temperatura	°C		18,50	18,00	18,30	18,20	<35
pH			07,84	07,90	07,70	07,30	
Conductividad	us/cm		702,00	392,00	374,00	323,00	
Sólidos disueltos totales	mg/l		293,00	230,00	216,00	178,00	
DQO	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5220 D	162,00	79,00	61,00	52,00	250,00
DBO5	mg/l	APHA 5210 B	56,00	21,40	15,80	08,40	100,00
Detergentes	mg/l	APHA 5540 C	1,03	01,02	0,72	0,49	0,50
Índice de Coliformes Totales	NMP/100ml	APHA 9221 B	4,8 x10 <sup>5</sup>	1,2 x10 <sup>5</sup>	716,00	344,00	5000,00
Índice de Coliformes Fecales	NMP/100ml	APHA 9221 C	3,1 x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>4</sup>	3,3x10 <sup>3</sup>	502,00	2500,00
Nitrógeno Total	mg/l	APHA 4500 Norg C	132,60	56,38	21,02	12,40	15,00
Fósforo Total	mg/l	APHA 4500 PC	18,40	17,20	11,70	09,80	10,00

Limite permisible según: *Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria* (Tabla 1,TULAS).

**Fuente:** Laboratorio de control de calidad de aguas (EMAPA)- Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química, (UCE)

**Elaborado por:** Liliana Fiallos



**Tabla A - 4.** Resultados de los análisis realizados durante un mes en agua del estanque que con carrizo.

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADOS				LIMITE PERMISIBLE
			0 DIAS	10 DIAS	20 DIAS	30 DIAS	
Temperatura	°C		18,50	18,20	18,70	18,40	<35
pH			07,84	08,30	08,60	09,30	
Conductividad	us/cm		702,00	463,00	398,00	346,00	
Sólidos disueltos totales	mg/l		293,00	268,00	239,00	185,00	
DQO	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5220 D	162,00	67,00	57,00	83,00	250,00
DBO5	mg/l	APHA 5210 B	56,00	20,03	15,20	9,87	100,00
Detergentes	mg/l	APHA 5540 C	1,03	1,10	0,65	0,51	0,50
Índice de Coliformes Totales	NMP/100ml	APHA 9221 B	4,8x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>5</sup>	419,00	933,00	5000,00
Índice de Coliformes Fecales	NMP/100ml	APHA 9221 C	3,1x10 <sup>4</sup>	2,1x10 <sup>6</sup>	2,4x10 <sup>4</sup>	757,00	2500,00
Nitrógeno Total	mg/l	APHA 4500 Norg C	132,60	60,80	17,90	11,70	15,00
Fósforo Total	mg/l	APHA 4500 PC	18,40	16,70	10,90	9,30	10,00

Límite permisible según: *Texto* Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Tabla 1,TULAS).

**Fuente:** Laboratorio de control de calidad de aguas (EMAPA)- Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química, (UCE)

**Elaborado por:** Liliana Fiallos

**Tabla A-5. Estudio Económico del sistema de depuración empleado.**

<b>VEGETAL</b>	<b>COSTO</b>	
	<b>N° plantas</b>	<b>costo (\$)</b>
Lechuguín	50	10
Carrizo	30	05
<b>Total</b>		<b>(\$)15</b>

<b>Construcción del estanque</b>	<b>cantidad</b>	<b>v. unitario (\$)</b>	<b>v. total (\$)</b>
Mano de obra	2 personas	30,00	60,00
Plástico de invernadero 4 x 6m	2	16,83	33,66
grapasa	1 caja	02,50	02,50
cinta de invernadero	2	03,50	07,00
Imprevistos		10,00	10,00
		<b>Total</b>	<b>113,16</b>

**Fuente:** Empresa Hidrotecnología.

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

**ANEXO B**  
***ANÁLISIS ESTADÍSTICO***

**Tabla B-1. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de temperatura del agua servidas.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1= 0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A		FACTOR B		
	2	4	R1	R2	Promedio
<b>TEMPERATURA</b>	1	1	18,30	18,50	<b>18,40</b>
	1	2	18,30	18,00	<b>18,15</b>
	1	3	19,10	18,30	<b>18,70</b>
	1	4	18,20	18,20	<b>18,20</b>
	2	1	18,30	18,50	<b>18,40</b>
	2	2	18,20	18,20	<b>18,20</b>
	2	3	18,90	18,70	<b>18,80</b>
	2	4	18,10	18,40	<b>18,25</b>
	<b>Promedio</b>			<b>18,41</b>	<b>18,35</b>

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-2. Análisis de Varianza (ANOVA) para la temperatura del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	0,01	1	0,01	0,23	0,6398	
FACTOR B	0,8125	3	0,270833	6,27	0,097	*
RESIDUAL	0,475	11	0,0431818			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>1,2975</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

#### COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)

CV= **1,40%**

Por cada 100 veces que se repita la prueba 1,4 veces se obtendrán resultados diferentes

**Tabla B-3. Prueba de TUKEY al 5% para la temperatura del aguas servidas con factor B.**

Factor B	Observaciones	Medias	Grupo
2	4	18,175	A
4	4	18,225	A
1	4	18,4	AB
3	4	18,75	B

**Tabla B-4. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Potencial Hidrogeno del agua servidas.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

**Factor B: Tiempo**

a1= Lechuguín

b1= 0 días

a2= Carrizo

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
	2	4	R1	R2	Promedio
<b>Potencial Hidrogeno</b>	1	1	7,62	7,84	<b>7,73</b>
	1	2	8,05	7,90	<b>7,98</b>
	1	3	7,86	7,70	<b>7,78</b>
	1	4	7,35	7,30	<b>7,33</b>
	2	1	7,62	7,84	<b>7,73</b>
	2	2	8,34	8,30	<b>8,32</b>
	2	3	9,33	8,60	<b>8,97</b>
	2	4	9,97	9,30	<b>9,64</b>
<b>Promedio</b>			<b>8,27</b>	<b>8,10</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-5. Análisis de Varianza (ANOVA) para el potencial hidrogeno del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	3,6864	1	3,6864	10,85	0,0072	*
FACTOR B	1,32235	3	0,4408	1,30	0,3242	*
RESIDUAL	3,73835	11	0,33985			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>8,7471</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

## COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)

**CV = 3.10%** Por cada 100 veces que se repita la prueba, 3.10 veces se obtendrían resultados diferentes.

**Tabla B-6. Prueba de TUKEY al 5% para el potencial hidrogeno del agua servida.**

Factor A	Observaciones	Medias	Grupo
1	8	7,7025	A
2	8	8,665	B

**Tabla B-7. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Conductividad del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1= 0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio B</b>
<b>Conductividad</b>	1	1	623	702	<b>662,50</b>
	1	2	539	392	<b>465,50</b>
	1	3	465	374	<b>419,50</b>
	1	4	365	323	<b>344,00</b>
	2	1	623	702	<b>662,50</b>
	2	2	559	463	<b>511,00</b>
	2	3	507	398	<b>452,50</b>
	2	4	443	346	<b>394,50</b>
<b>Promedio A</b>			<b>515,50</b>	<b>462,50</b>	

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-8. Análisis de Varianza (ANOVA) para la Conductividad del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	4160,25	1	4160,25	01,18	0,3011	*
FACTOR B	189008,00	3	63002,50	17,83	0,0002	*
RESIDUAL	38870,20	11	3533,66			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>232038,20</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

#### **COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)**

**CV = 12.5%** Por cada 100 veces que se repita la prueba, 12.5 veces se obtendrían resultados diferentes.

**Tabla B-9. Prueba de TUKEY al 5% para la Conductividad del aguas servida.**

Factor B	Observaciones	Medias	Grupo
4	4	369.25	A
3	4	436.0	A
2	4	488.25	A
1	4	662.5	B



**Tabla B-10. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Sólidos Disueltos Totales del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1=0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio B</b>
	1	1	305	293	<b>299,00</b>
	1	2	264	230	<b>247,00</b>
	1	3	228	216	<b>222,00</b>
	1	4	179	178	<b>178,50</b>
	2	1	305	293	<b>299,00</b>
	2	2	274	268	<b>271,00</b>
	2	3	248	239	<b>243,50</b>
	2	4	217	185	<b>201,00</b>
<b>Promedio A</b>			<b>252,50</b>	<b>237,75</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-11. Análisis de Varianza (ANOVA) para Sólidos Disueltos Totales del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	1156,00	1	1156,00	07,25	0,0209	*
FACTOR B	25258,30	3	8419,42	52,82	0,0000	*
RESIDUAL	1753,50	11	159,41			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>28167,80</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

### COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)

**CV = 3.4%** Por cada 100 veces que se repita la prueba, 3.4 veces se obtendrían resultados diferentes.

**Tabla B-12. Prueba de TUKEY al 5% para Sólidos Disueltos Totales del agua servida.**

<b>Factor A</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
1	8	236,625	A
2	8	253,625	B

<b>Factor B</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
4	4	189,75	A
3	4	232,75	B
2	4	259,00	B
1	4	299,00	C

**Tabla B-13. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1=0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
	2	4	R1	R2	Promedio
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	1	1	194	162	<b>178,00</b>
	1	2	70	79	<b>74,50</b>
	1	3	58	61	<b>59,50</b>
	1	4	54	52	<b>53,00</b>
	2	1	194	162	<b>178,00</b>
	2	2	63	67	<b>65,00</b>
	2	3	133	57	<b>95,00</b>
	2	4	182	83	<b>132,50</b>
<b>Promedio</b>			<b>118,50</b>	<b>90,38</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-14. Análisis de Varianza (ANOVA) para la Demanda Química de Oxígeno del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	3,15	1	3,15	0,93	0,3562	*
FACTOR B	5709,76	3	1903,25	560,31	0,0000	*
RESIDUAL	37,37	11	3,34			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5750,28</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

### COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)

CV = 27.3% Por cada 100 veces que se repita la prueba, 27 veces se obtendrían resultados diferentes.

**Tabla B-15. Prueba de TUKEY al 5% para la Demanda Química de Oxígeno del aguas servida.**

Factor B	Observaciones	Medias	Grupo
4	4	08,5175	A
3	4	14,5	B
2	4	20,3575	C
1	4	57,0	D

**Tabla B-16. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1= 0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A		FACTOR B		Promedio
	2	4	R1	R2	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1	1	58,00	56,00	<b>57,00</b>
	1	2	21,00	21,40	<b>21,20</b>
	1	3	12,00	15,80	<b>13,90</b>
	1	4	04,60	08,40	<b>06,50</b>
	2	1	58,00	56,00	<b>57,00</b>
	2	2	19,00	20,03	<b>19,52</b>
	2	3	15,00	15,20	<b>15,10</b>
	2	4	11,20	09,87	<b>10,54</b>
<b>Promedio</b>			<b>24,85</b>	<b>25,34</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-17. Análisis de Varianza (ANOVA) para la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	2782,56	1	2782,56	2,23	0,1639	*
FACTOR B	29961,70	3	9987,23	7,99	0,0042	*
RESIDUAL	13755,70	11	1250,52			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>46499,90</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

#### **COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)**

**CV = 6.6%** Por cada 100 veces que se repita la prueba, 7 veces se obtendrían resultados diferentes.

**Tabla B-18. Prueba de TUKEY al 5% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno del aguas servida.**

Factor B	Observaciones	Medias	Grupo
2	4	69,75	A
3	4	77,25	A
4	4	92,75	A
1	4	178,00	B

**Tabla B-19. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Detergentes del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1= 0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
<b>Detergentes</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio B</b>
	1	1	1,24	1,03	<b>1,14</b>
	1	2	0,98	1,02	<b>1,00</b>
	1	3	0,32	0,72	<b>0,52</b>
	1	4	0,28	0,49	<b>0,39</b>
	2	1	1,24	1,03	<b>1,14</b>
	2	2	0,93	1,10	<b>1,02</b>
	2	3	0,42	0,65	<b>0,54</b>
	2	4	0,31	0,51	<b>0,41</b>
<b>Promedio A</b>			<b>0,71</b>	<b>0,82</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-20. Análisis de Varianza (ANOVA) para Detergentes del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	0,000689063	1	0,000689063	00,04	0,8525	
FACTOR B	1,55232	3	0,517439	27,22	0,0000	*
RESIDUAL	0,20913	11	0,0190118			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>1,76214</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**COEFICIENTE DE VARIANZA (CV)**

**CV = 20 %** Por cada 100 veces que se repita la prueba, 20 veces se obtendrían resultados diferentes.

**Tabla B-21. Prueba de TUKEY al 5% para Detergentes del aguas servida.**

Factor B	Observaciones	Medias	Grupo
4	4	<b>0,39625</b>	A
3	4	<b>0,5275</b>	A
2	4	<b>1,0075</b>	B
1	4	<b>1,135</b>	B

**Tabla B-22. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación del Índice de Coliformes Totales del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1=0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
Índice de Coliformes Totales	2	4	R1	R2	PROMEDIO B
	1	1	005,40E+06	004,80E+05	<b>2940000,0</b>
	1	2	001,60E+06	001,20E+05	<b>860000,0</b>
	1	3	110,00	716,00	<b>413,0</b>
	1	4	240,00	344,00	<b>292,0</b>
	2	1	005,40E+06	004,80E+05	<b>2940000,0</b>
	2	2	003,50E+04	002,50E+05	<b>142500,0</b>
	2	3	920,00	419,00	<b>669,5</b>
	2	4	002,20E+03	933,00	<b>1566,5</b>
		PROMEDIO A	<b>1554808,75</b>	<b>166551,5</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-23. Análisis de Varianza (ANOVA) para el Índice de Coliformes Totales del agua servida.**

<b>Fuente de varianza</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>G.L.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F calc.</b>	<b>F tablas</b>	<b>Signif</b>
FACTOR A	1,28153E+11	1	1,28153E+11	0,05	0,8192	
FACTOR B	2,37271E+13	3	7,90903E+12	3,38	0,0578	*
RESIDUAL	2,57114E+13	11	2,3374E+12			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>4,95666E+13</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-24. Prueba de TUKEY al 5% para el Índice de Coliformes Totales del aguas servida.**

<b>Factor B</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
3	4	<b>541,25</b>	A
4	4	<b>929,25</b>	A
2	4	<b>501250,00</b>	A
1	4	<b>002,94E6</b>	A



**Tabla B-25. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación del Índice de Coliformes Fecales del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1=0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
Índice de Coliformes Fecales	2	4	R1	R2	Promedio B
	1	1	002,80E+05	003,10E+04	155500,00
	1	2	002,20E+05	001,50E+04	117500,00
	1	3	003,30E+03	003,30E+03	3300,00
	1	4	033,00	502,00	267,50
	2	1	002,80E+05	003,10E+04	155500,00
	2	2	350,00	002,10E+06	1050175,00
	2	3	002,40E+04	002,40E+04	24000,00
	2	4	170,00	757,00	463,50
			PROMEDIO A	100981,625	275694,875

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-26. Análisis de Varianza (ANOVA) para el Índice de Coliformes Fecales del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	2,27324E11	1	2,27324E11	0,85	0,3754	*
FACTOR B	8,93391E11	3	2,97797E11	1,12	0,3836	*
RESIDUAL	2,93027E12	11	2,66388E11			
<b>Total (Corr.)</b>	4,05098E12	15				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-27. Prueba de TUKEY al 5% para el Índice de Coliformes Fecales del agua servida.**

<b>Factor B</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
4	4	<b>365,5</b>	A
3	4	<b>13650,0</b>	A
1	4	<b>155500,0</b>	A
2	4	<b>583838,0</b>	A

**Tabla B-28. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Nitrógeno Total del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1=0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	<b>FACTOR A</b>	<b>FACTOR B</b>			
	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio B</b>
<b>Nitrógeno Total</b>	1	1	154,23	132,60	<b>143,42</b>
	1	2	45,42	56,38	<b>50,90</b>
	1	3	20,34	21,02	<b>20,68</b>
	1	4	08,16	12,40	<b>10,28</b>
	2	1	154,23	132,60	<b>143,42</b>
	2	2	39,23	60,80	<b>50,02</b>
	2	3	07,12	17,90	<b>12,51</b>
	2	4	01,18	11,70	<b>6,44</b>
<b>Promedio A</b>			53,72	55,68	

**Fuente:** Liliana Fiallos

**Elaborado por:** Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-29. Análisis de Varianza (ANOVA) para el Nitrógeno Total del agua servida.**

<b>Fuente de varianza</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>G.L.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F calc.</b>	<b>F tablas</b>	<b>Signif</b>
FACTOR A	41,57	1	41,57	0,49	0,4964	
FACTOR B	45950,90	3	15317,00	182,36	0,0000	*
RESIDUAL	923,92	11	83,99			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>46916,40</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B-30. Prueba de TUKEY al 5% para el Nitrógeno Total del agua servida.**

<b>Factor B</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
4	4	<b>8,36</b>	A
3	4	<b>16,595</b>	A
1	4	<b>50,4575</b>	B
2	4	<b>143,415</b>	C

**Tabla B-31. Diseño experimental AxB con 2 repeticiones para la determinación de Fosforo Total del agua servida.**

**Factor A : Tipo de Vegetal**

a1= Lechuguín

a2= Carrizo

**Factor B: Tiempo**

b1=0 días

b2=10 días

b3=20 días

b4=30 días

	FACTOR A	FACTOR B			
<b>Fosforo Total</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>PROM. B</b>
	<b>1</b>	<b>1</b>	19,70	18,40	<b>19,05</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	16,20	17,20	<b>16,70</b>
	<b>1</b>	<b>3</b>	10,00	11,70	<b>10,85</b>
	<b>1</b>	<b>4</b>	1,36	9,80	<b>5,58</b>
	<b>2</b>	<b>1</b>	19,70	18,40	<b>19,05</b>
	<b>2</b>	<b>2</b>	15,60	16,70	<b>16,15</b>
	<b>2</b>	<b>3</b>	4,70	10,90	<b>7,80</b>
	<b>2</b>	<b>4</b>	2,19	9,30	<b>5,75</b>
		<b>PROM. A</b>	<b>11,18</b>	<b>14,10</b>	

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Tabla B32. Análisis de Varianza (ANOVA) para Fosforo Total del agua servida.**

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calc.	F tablas	Signif
FACTOR A	2,945	1	2,95	00,36	0,5626	
FACTOR B	460,347	3	153,44	18,54	0,0001	*
RESIDUAL	91,035	11	8,28			
<b>Total (Corr.)</b>	<b>554,332</b>	<b>15</b>				

Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

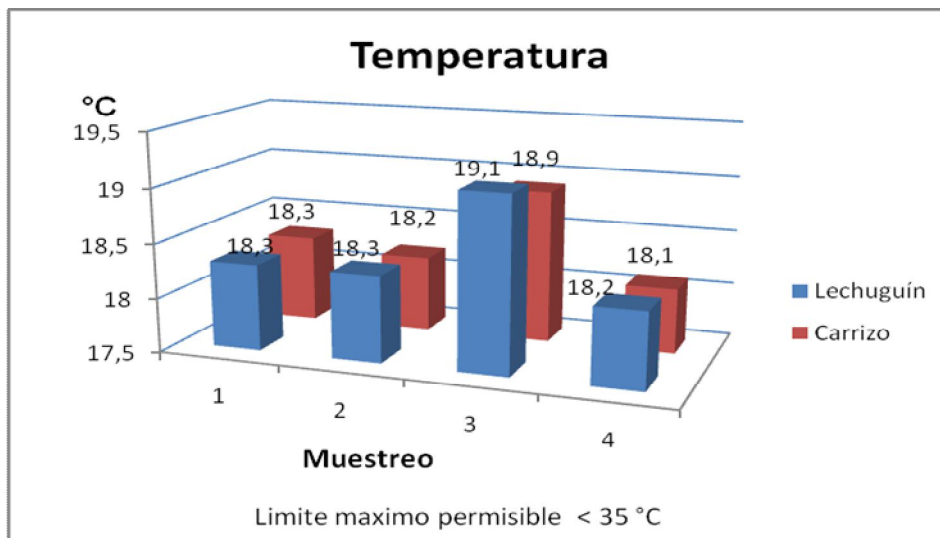
**Tabla B-33. Prueba de TUKEY al 95% para Fosforo Total del agua servida.**

<b>Factor B</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
4	4	05,663	A
3	4	09,33	A
1	4	16,43	B
2	4	19,05	B

**ANEXO C**  
*GRÁFICOS*

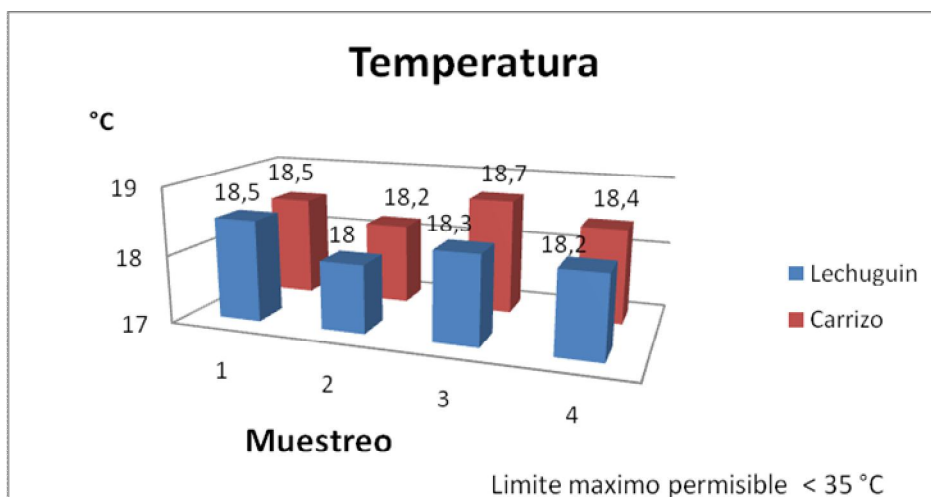
## TEMPERATURA

**Gráfico C-1.** Datos de Temperatura cada 10 días, durante la primera etapa de evaluación del agua residual.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

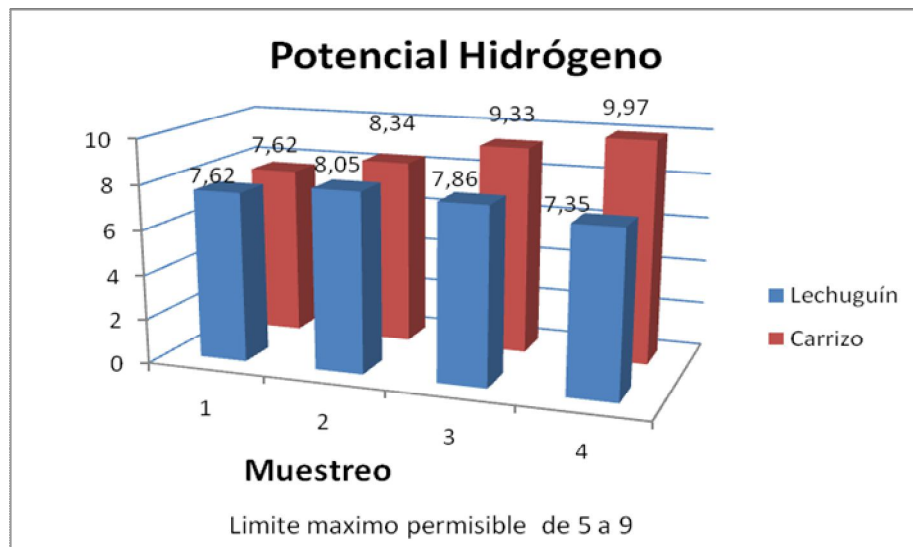
**Gráfico C-2.** Datos de Temperatura, durante la segunda etapa de evaluación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

### POTENCIAL HIDROGENO

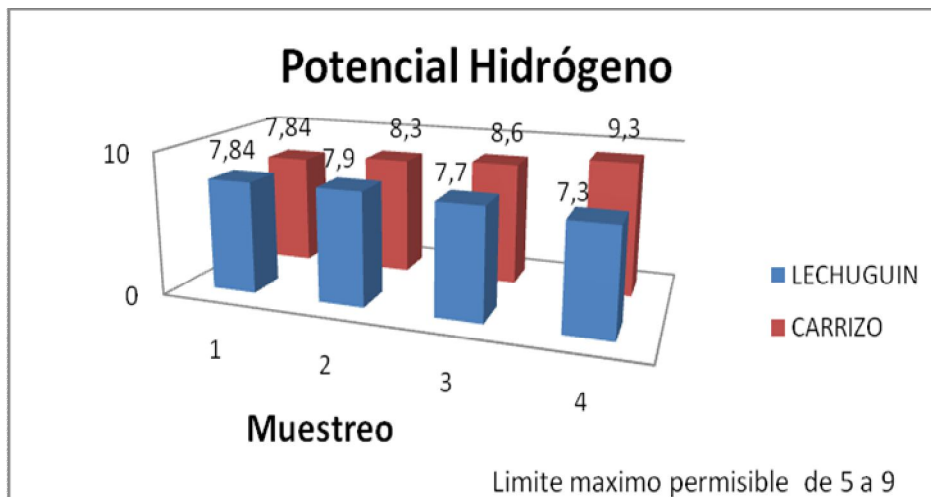
**Gráfico C-3.** Datos de potencial hidrógeno cada 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación del agua servida en los dos estanques.



**Fuente:** Liliana Fiallos

**Realizado por:** Fiallos, 2011

**Gráfico C-4.** Valores de Potencial Hidrógeno del agua reportados durante la segunda etapa de monitoreo.



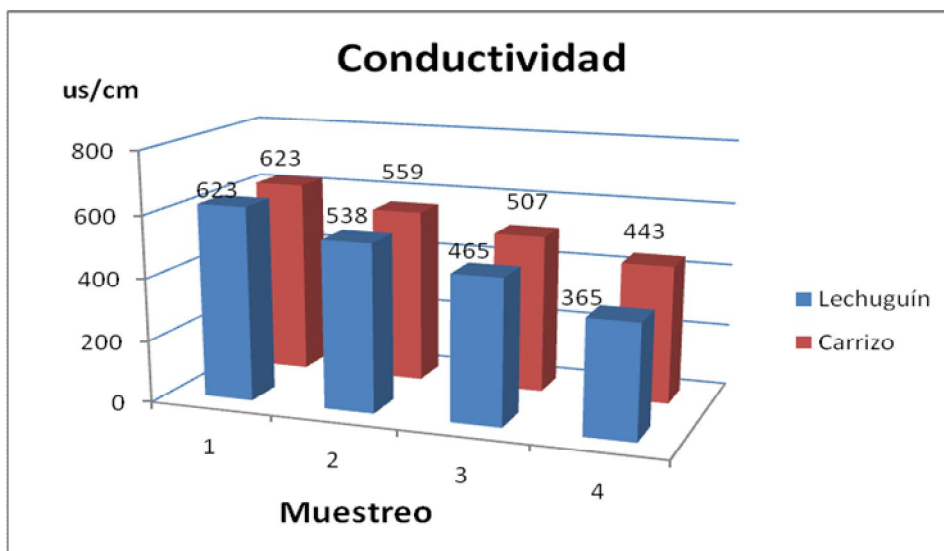
**Fuente:** Liliana Fiallos

**Realizado por:** Fiallos, 2011



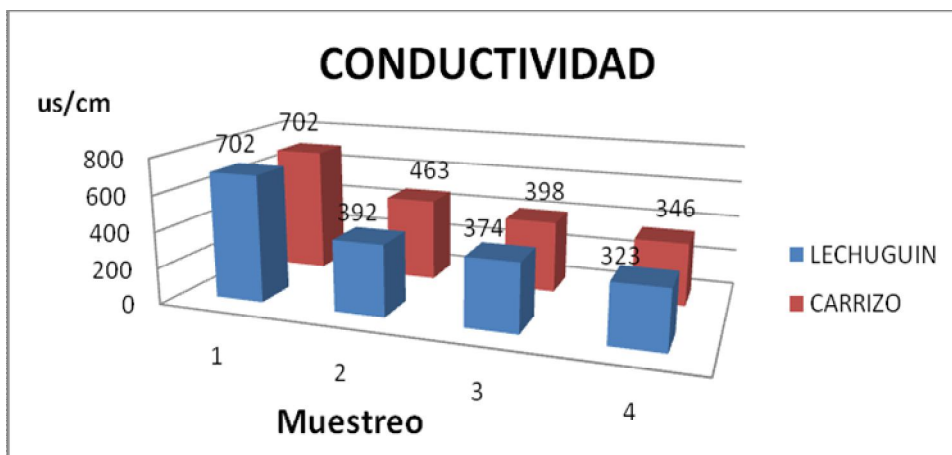
## CONDUCTIVIDAD

**Gráfico C-5.** Valores de conductividad del agua en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación en los dos estanques.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

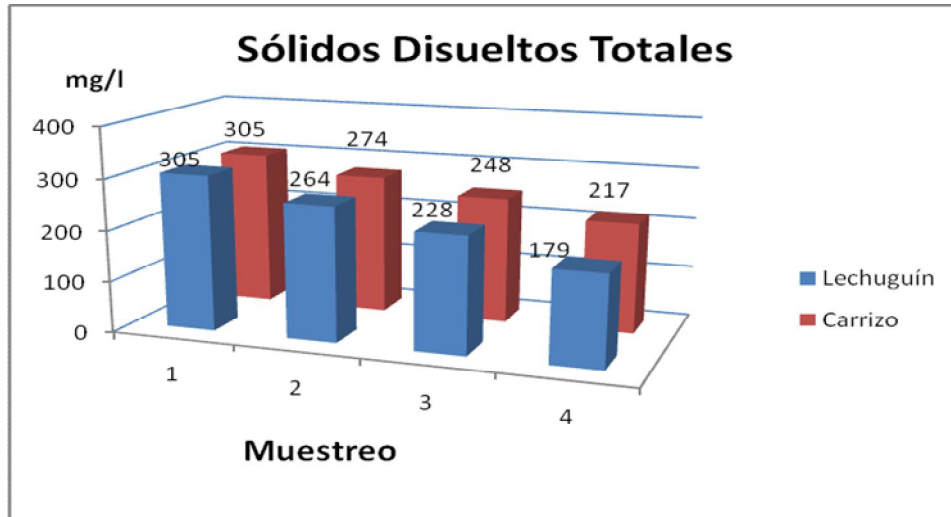
**Gráfico C-6.** Valores de conductividad del agua en, durante la segunda etapa de fitorremediación del agua contaminada.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

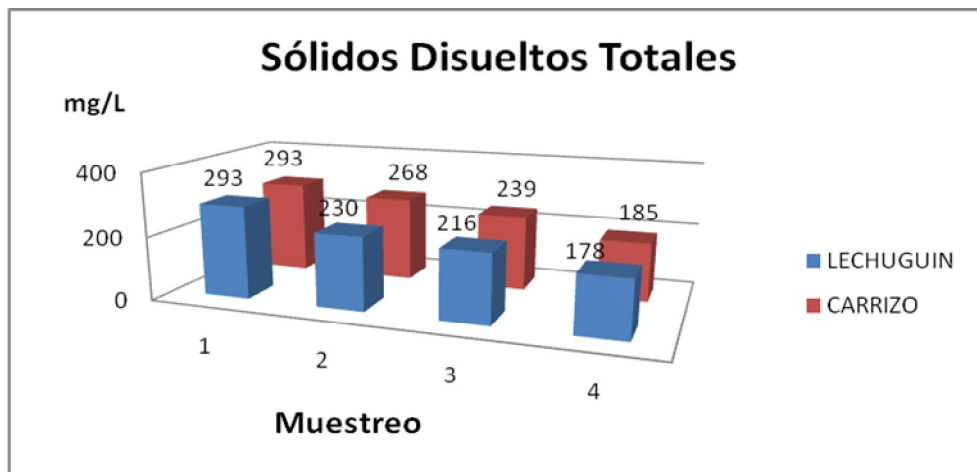
### SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

**Gráfico C-7.** Datos de sólidos disueltos totales en agua de los dos estanques, (lechuguín y carrizo), cada 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

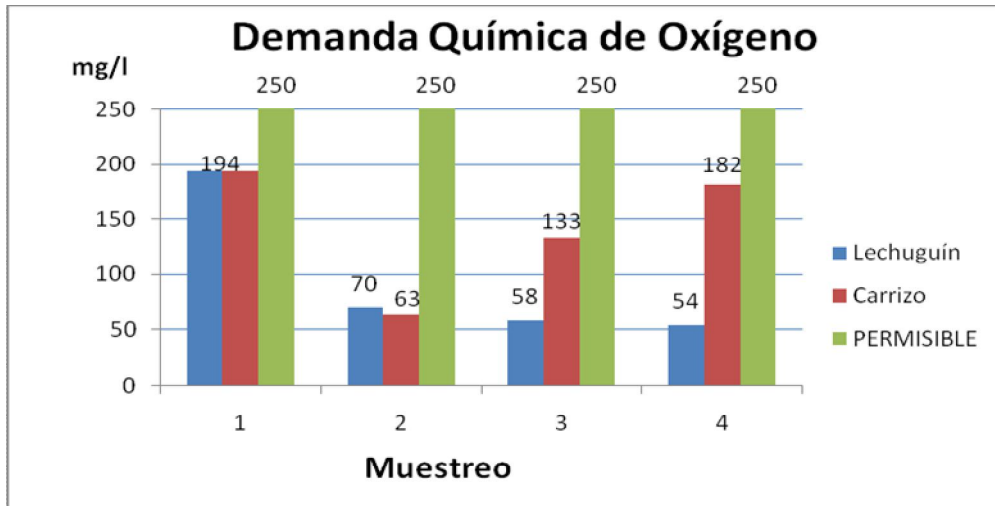
**Gráfico C-8.** Variación de los valores de sólidos disueltos totales del agua, durante la segunda etapa de fitorremediación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

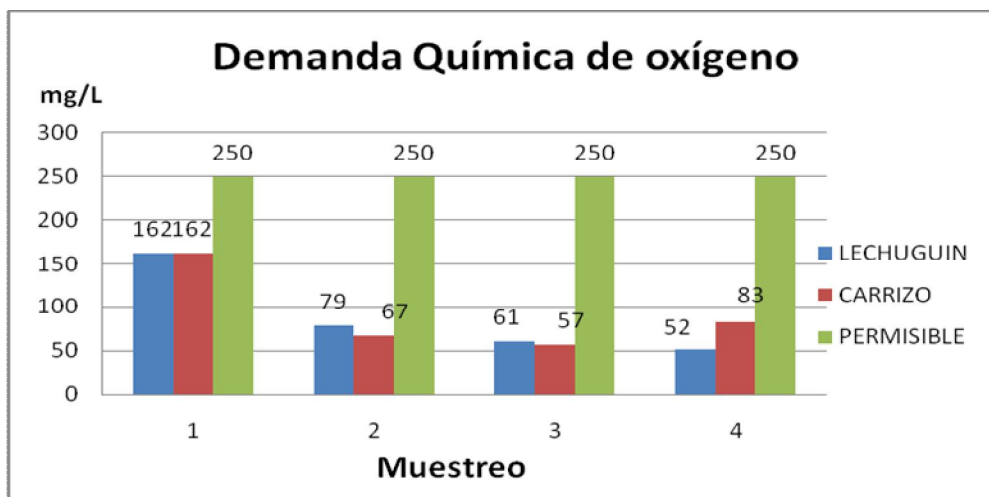
### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

**Gráfico C-9.** Datos de Demanda química de oxígeno del agua residual de los estanques vegetales, en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

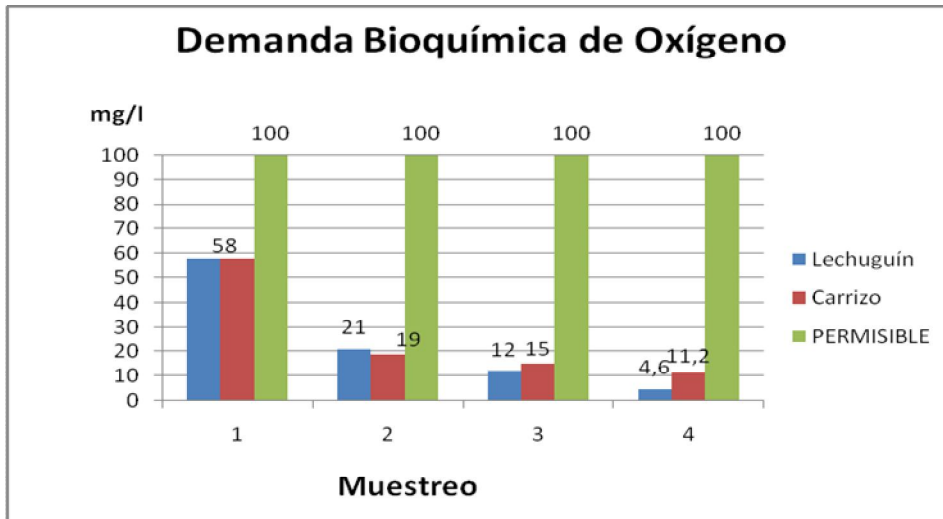
**Gráfico C-10.** Valores de DQO del agua comparados con el valor máximo permisible, durante la segunda etapa de fitorremediación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

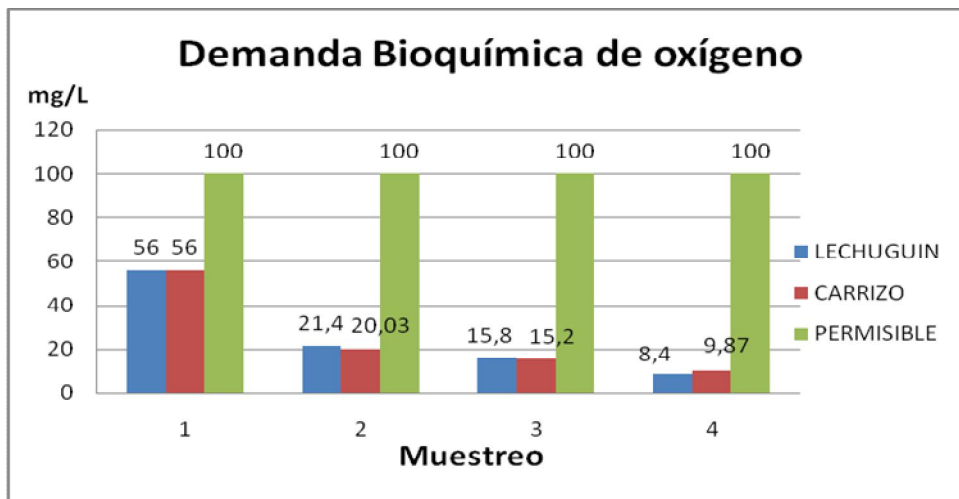
### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

**Gráfico C-11.** Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno en agua residual durante la primera etapa de fitorremediación.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

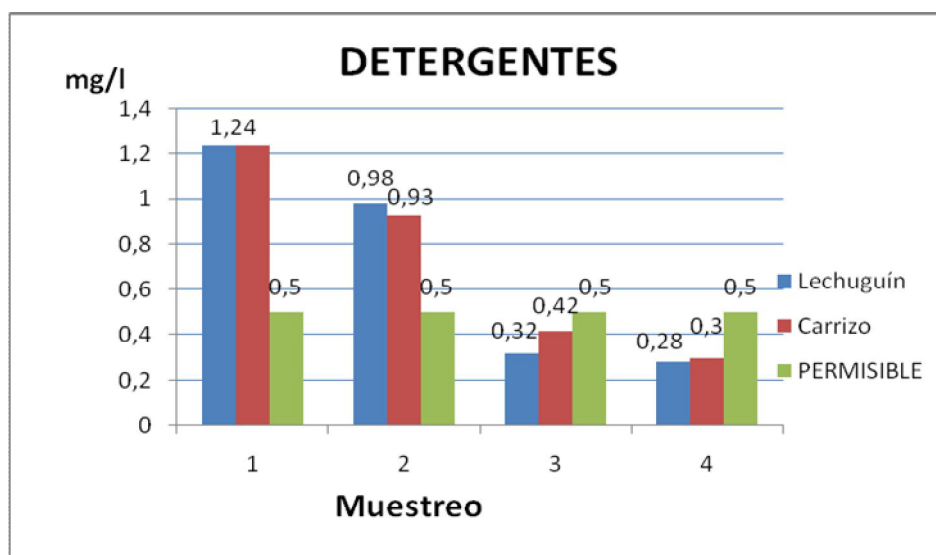
**Gráfico C-12.** Variación de los valores de DBO durante la segunda etapa de monitoreo, comparado con el valor permisible según TULAS



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

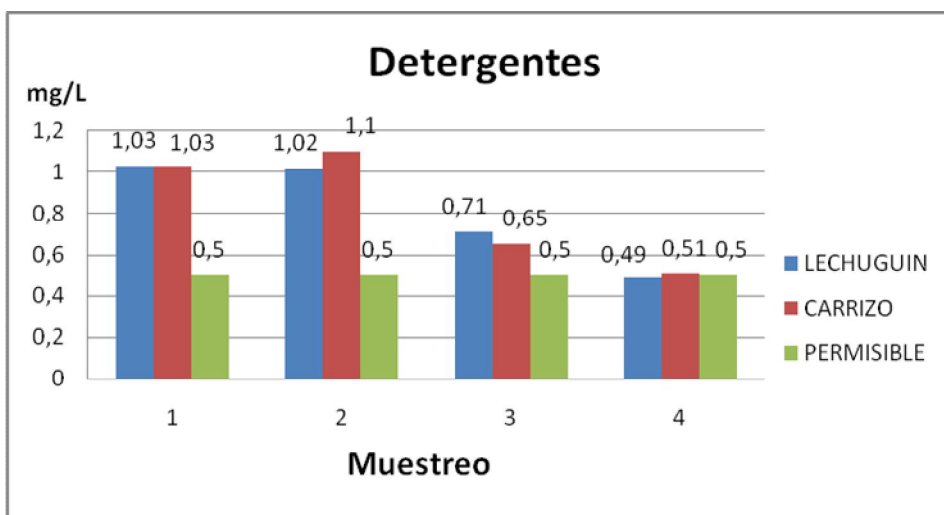
## DETERGENTES

**Gráfico C-13.** Valores de concentración de detergentes, obtenidos durante la primera etapa de monitoreo del agua servida sometida a fitorremediación.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

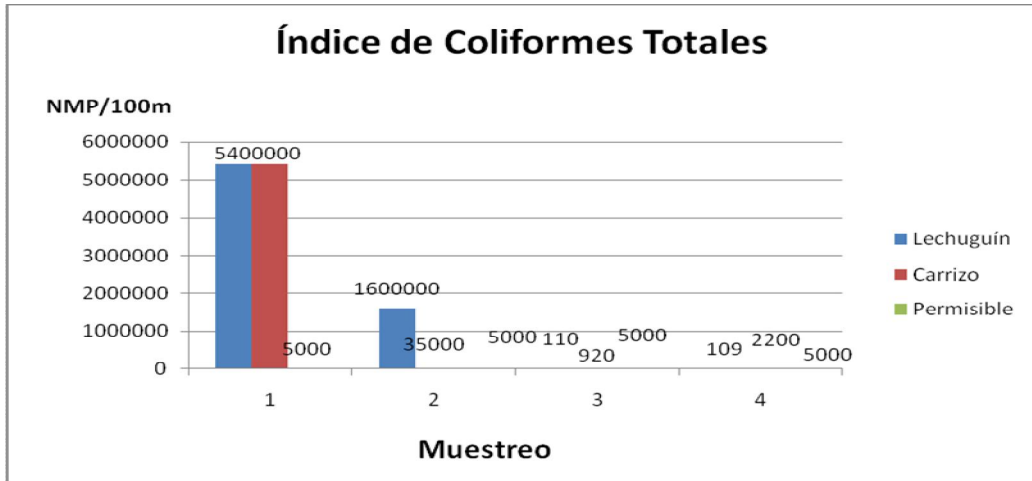
**Gráfico C-14.** Valores de concentración de detergentes en agua sometida a fitorremediación con dos tipos de vegetales durante la segunda etapa.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

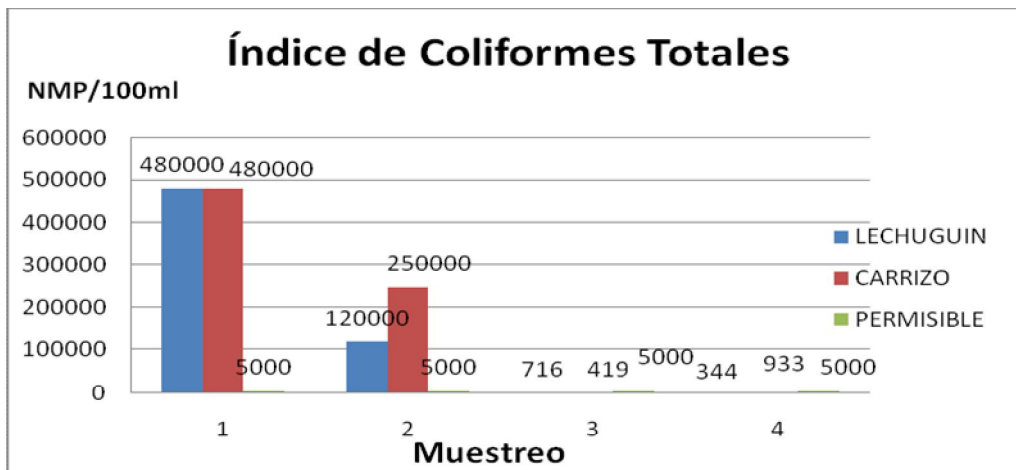
**INDICE DE COLIFORMES TOTALES**

**Gráfico C-15.** Datos de Índice de Coliformes Totales del agua en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

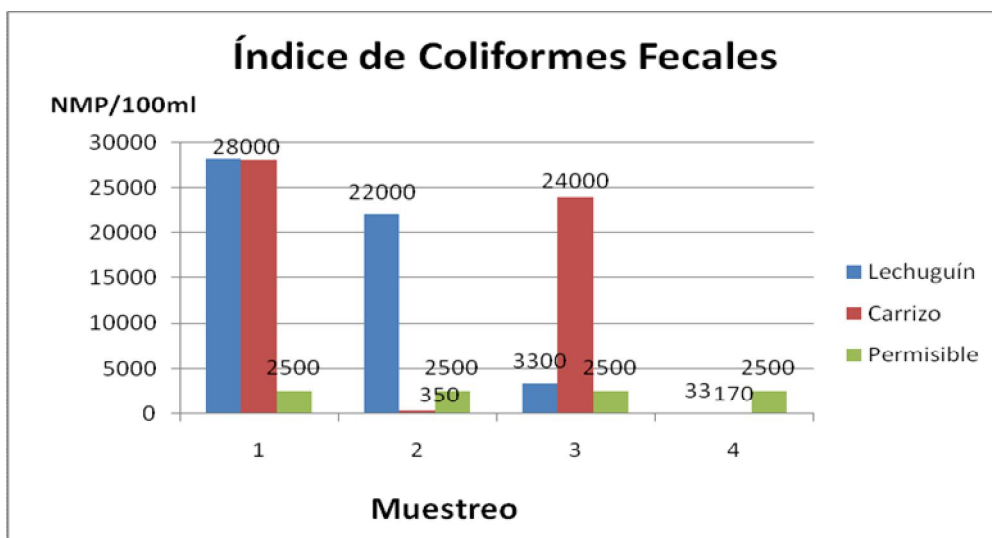
**Gráfico C-16.** Índice de Coliformes totales en agua de dos estanques con sistema de fitorremediación, comparados con el valor máximo permisible durante la segunda etapa de evaluación.



**Fuente:** Liliana Fiallos  
**Realizado por:** Fiallos, 2011

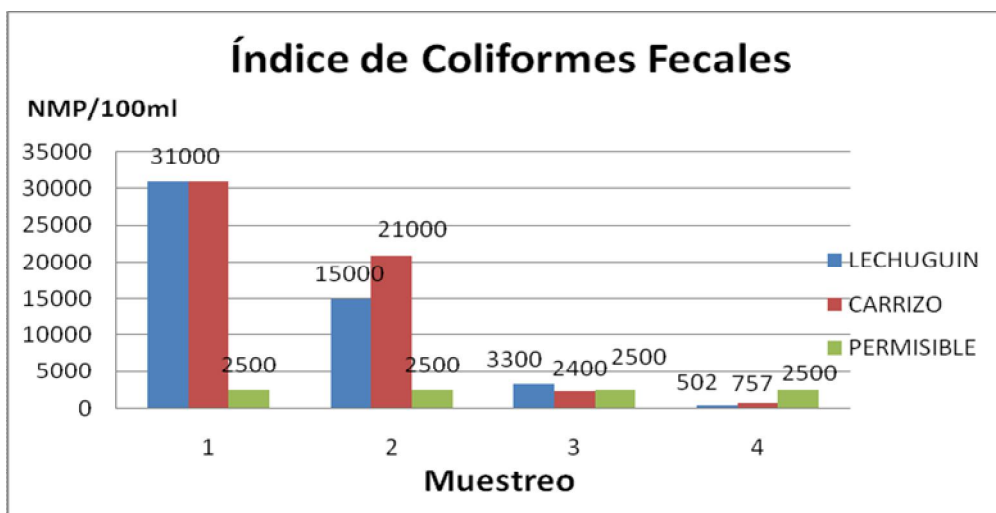
### INDICE DE COLIFORMES FECALES

**Gráfico C-17.** Índice de Coliformes Fecales del agua en tratamiento con fitorremediación, durante la primera fase de investigación.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

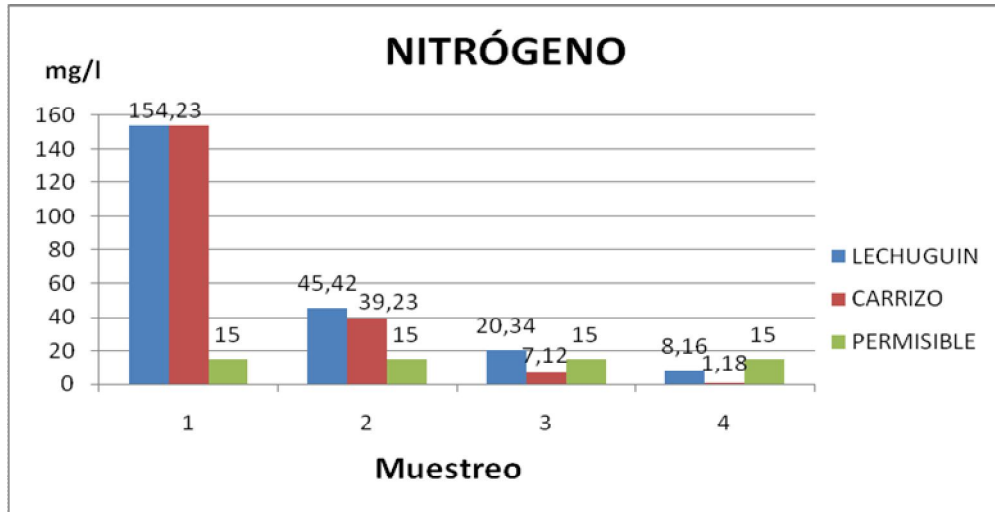
**Gráfico C-18.** Valores de índice de coliformes fecales en agua analizada durante la segunda etapa de fitorremediación.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

## NITRÓGENO TOTAL

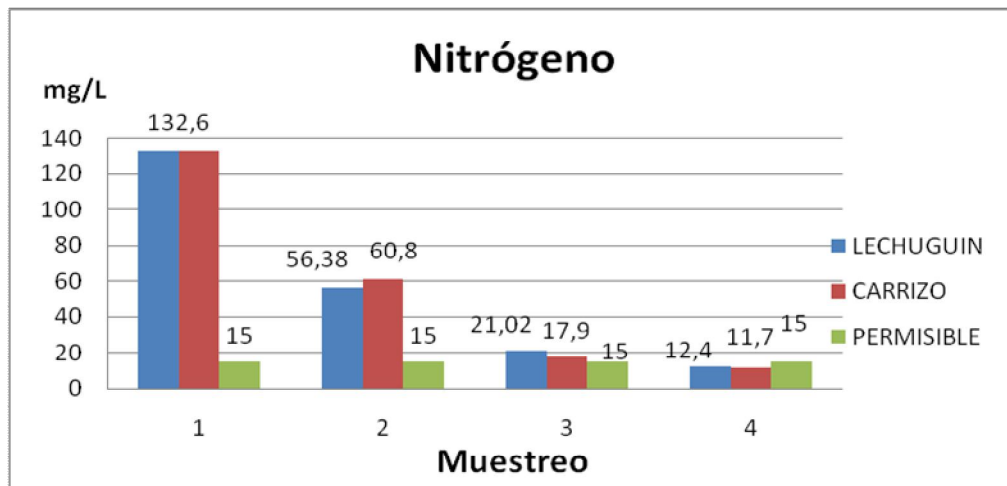
**Gráfico C-19.** Valores de concentración de Nitrógeno del agua en periodos de 10 días, durante la primera fase de fitorremediación en los dos estanques.



**Fuente:** Liliana Fiallos

**Realizado por:** Fiallos, 2011

**Gráfico C-20.** Concentración de Nitrógeno en agua analizada durante la segunda etapa de fitorremediación con lechuguín y carrizo.



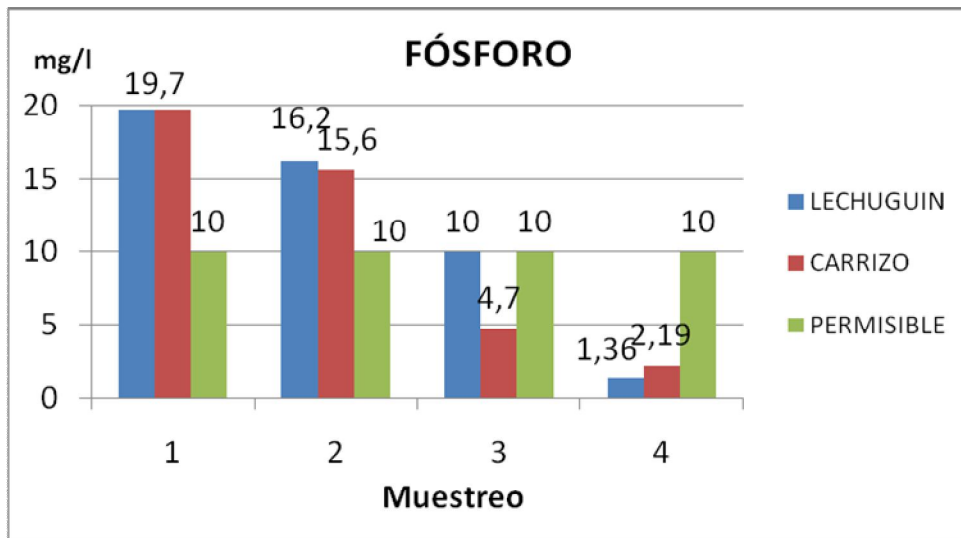
**Fuente:** Liliana Fiallos

**Realizado por:** Fiallos, 2011



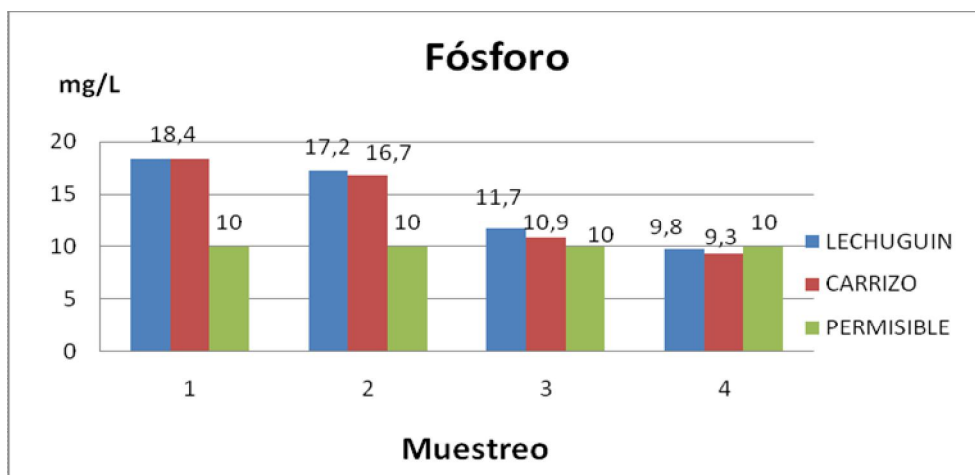
### FÓSFORO TOTAL

**Gráfico C-21.** Valores de Fósforo en agua de los estanques en periodos de 10 días, durante la primera etapa de fitorremediación en los dos estanques.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

**Gráfico C-22.** Concentración de Fósforo comparado con el valor máximo permisible según TULAS en agua contaminada, durante la segunda etapa de investigación.



Fuente: Liliana Fiallos  
Realizado por: Fiallos, 2011

# ANEXO D

## *IMÁGENES*

**Imagen D-1.** Planta de tratamiento de aguas residuales el Peral en mal estado previo a realizar la investigación.



**Imagen D-2.** Lecho de secado de lodos con maleza.



**Imagen D-3.** Fosa séptica colapsada por taponamiento en tubería anteriores debido al crecimiento abundante de maleza.



**Imagen D-4.** Exteriores de fosa séptica con agua residual debido al colapso de las tuberías, lo que impide el ingreso de agua hacia los sedimentador, por lo cual el agua sigue su curso por la parte externa de este tanque hacia el lecho de secado de lodos para su posterior salida sin previo tratamiento.



**Imagen D-5.** Planta de tratamiento de aguas posterior a dos fumigaciones para eliminar maleza y cortar matorrales



**Imagen D-6.** Construcción de caja de revisión previa la aplicación de la propuesta de fitorremediación.



**Imagen D-7.** Vista interna de la caja de revisión construida para el control de ingreso de agua hacia los estanque vegetales.



**Imagen D-8.** Estanques vegetales contruidos para fitorremediación, forrados con plástico de invernadero.



**Imagen D-9.** Llenado de estanque #1 con agua contaminada previa la colocación de lechuguín.



**Imagen D-10.** Relleno con tierra en el estanque #2 y posterior siembra de carrizo.



**Imagen D-11.** Optimo crecimiento de lechuguín en el estanque de fitorremediación, presento rápida reproducción por lo que es necesario retirar una parte de vegetal cada 15 días para permitir su desarrollo.



**Imagen D-12.** Deterioro del carrizo en el estanque.



**Imagen D-13.** Caja de filtro en malas condiciones debido a la acumulación de lodo en las piedras, requiere limpieza.





**Imagen D-14.** Vista superior de la planta de Tratamiento de aguas residual El Peral durante el lavado de la caja filtro.



**Imagen D-15** Lavado de las piedras de la caja filtro.



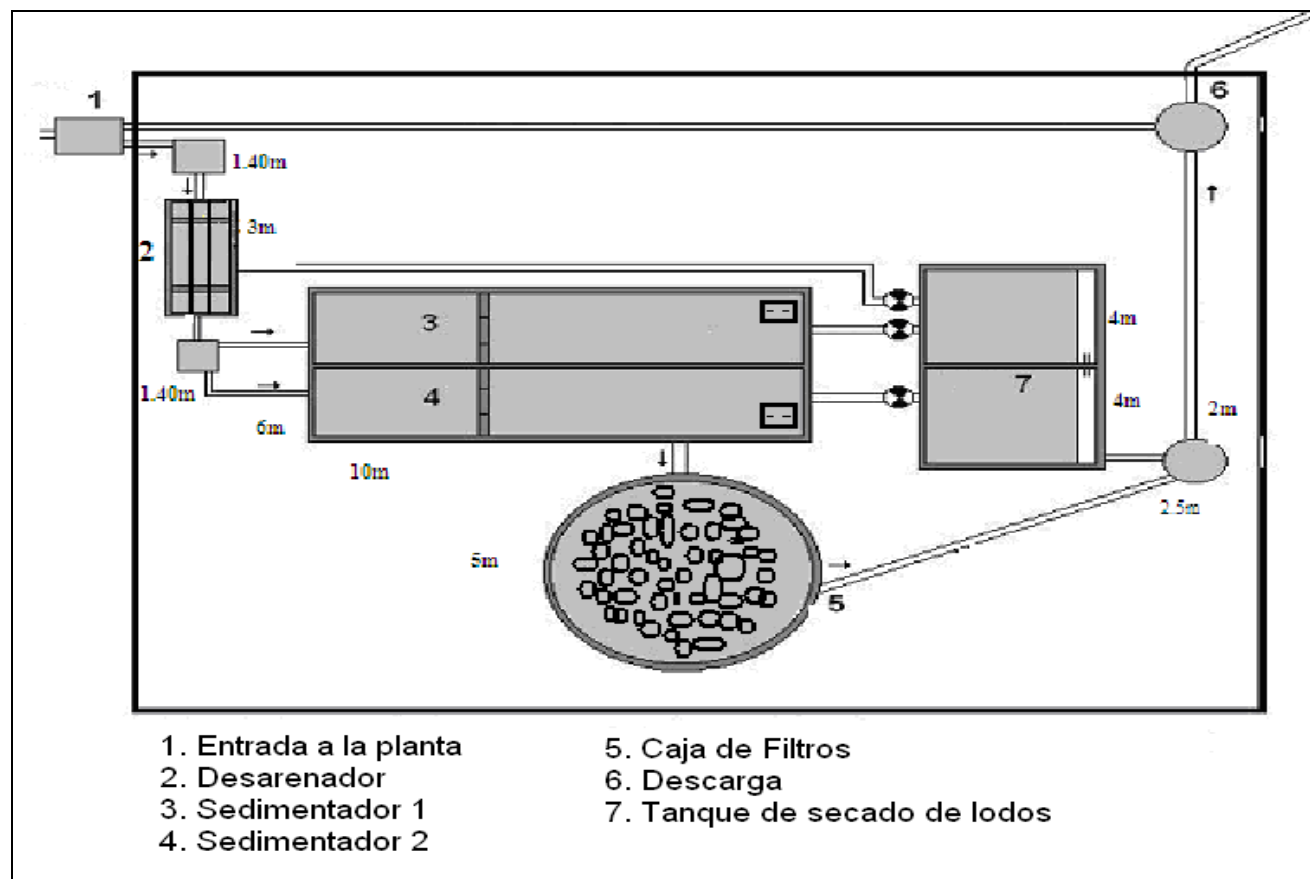
**Imagen D-16.** Caja filtro vacía, para cambio de piedras nuevas.



**Imagen D-17.** Vaciado de los estanques, una vez terminada la primera etapa, previo a su lavado.



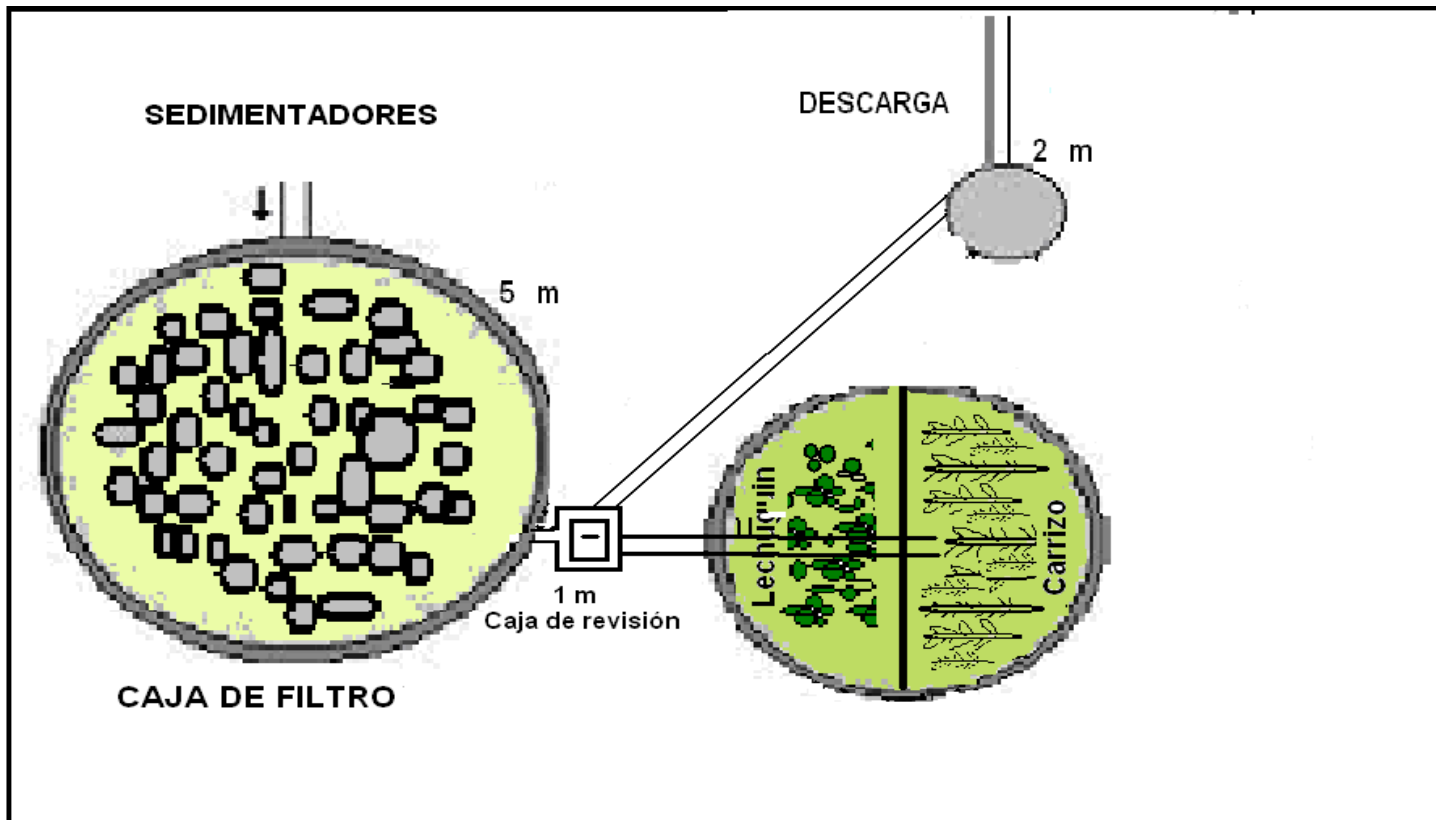
**Imagen D-18.** Actual sistema de tratamiento en la estacion El Peral



**Fuente:** Departamento técnico de la EMAPA

**Elaborado por:** Personal del departamento técnico de la EMAPA

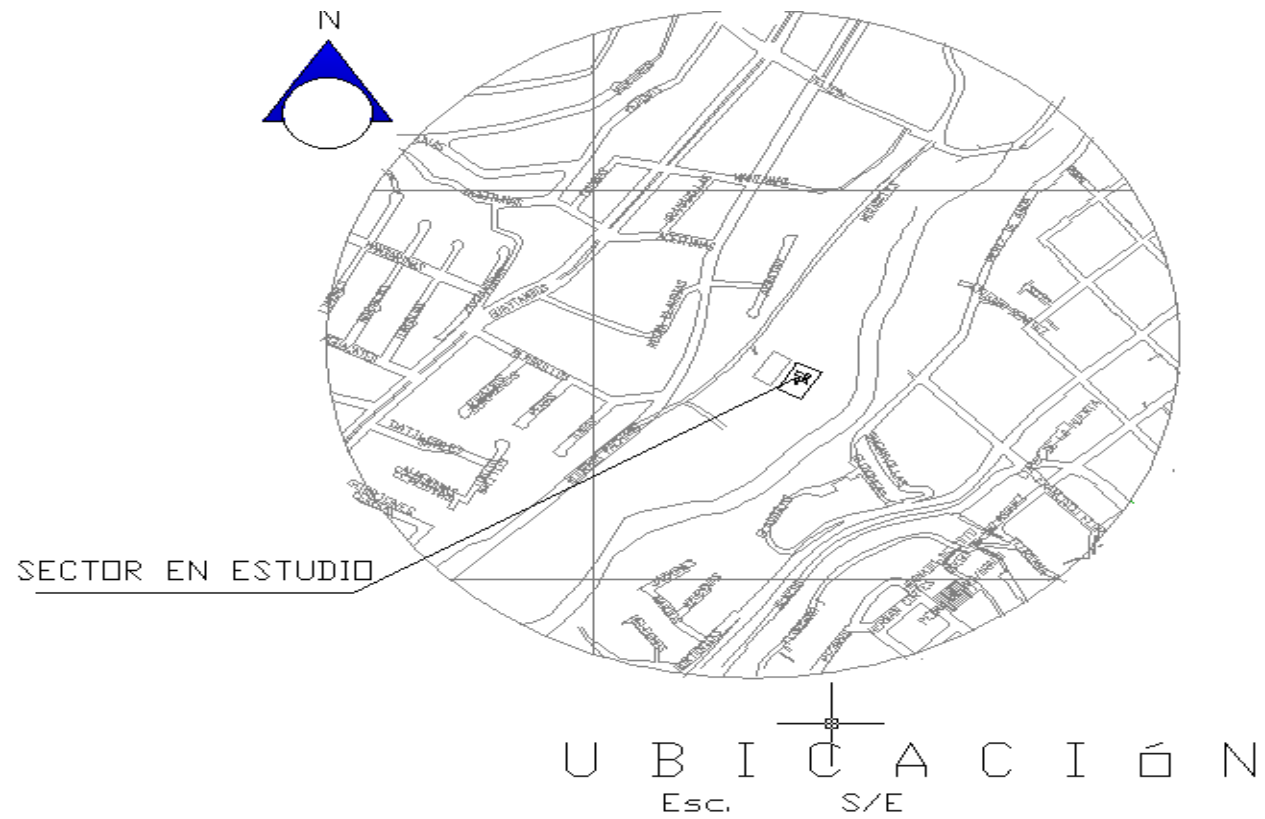
Imagen D-19 Innovacion Biologica Aplicada, (Fitorremediación)



Fuente: Liliana Fiallos

Elaborado por: Liliana Fiallos, 2011

**Imágen D-20.** Mapa de ubicación del sector de estudio

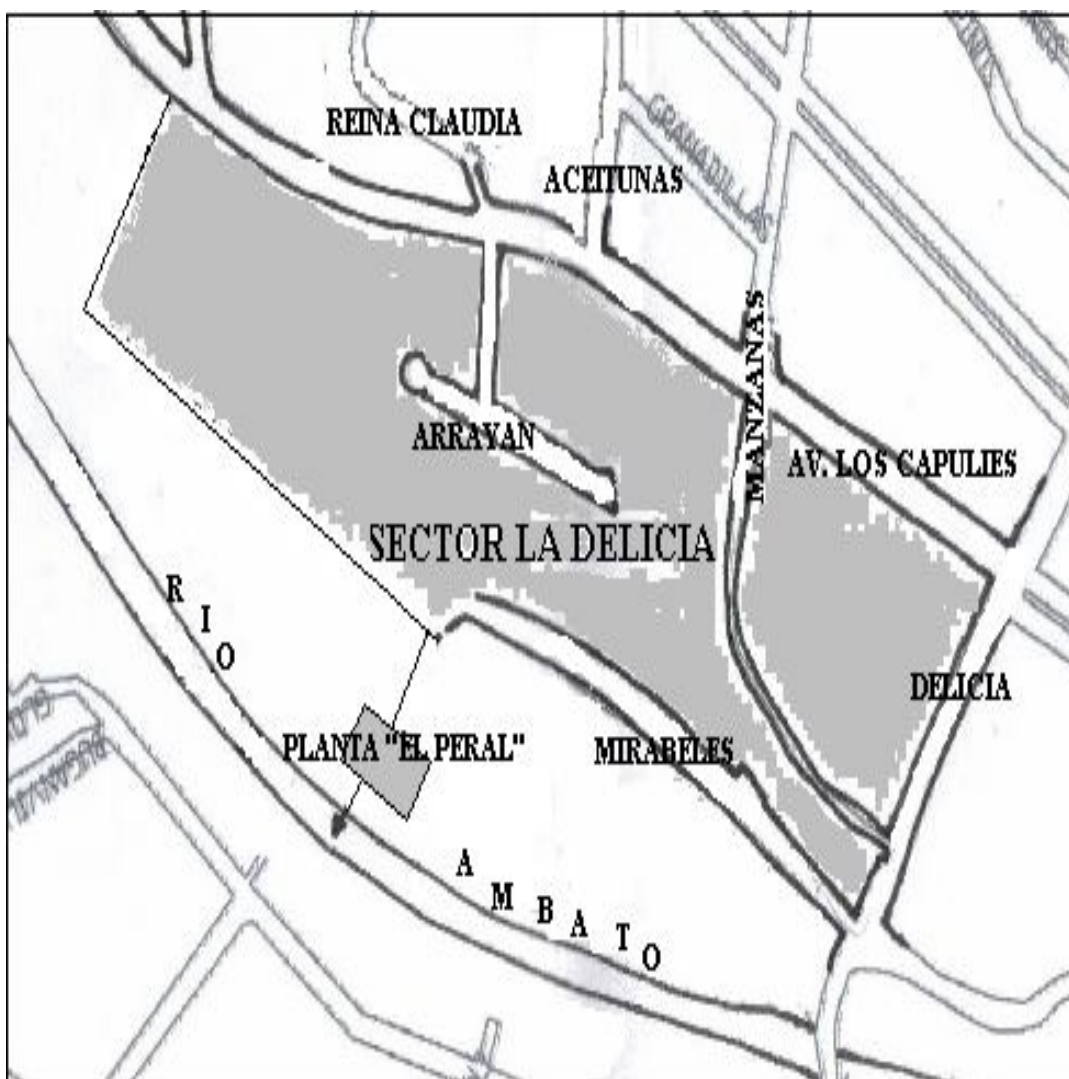


**Fuente:** Departamento técnico de la EMAPA

**Elaborado por:** Personal del departamento técnico de la EMAPA

**Imagen D-21.** Sector La Delicia – Ambato

Para la recolección de las aguas servidas del sector de la Delicia se utiliza un sistema combinado de alcantarilla, es decir, que tanto el agua residual doméstica como la pluvial en época de lluvia desembocan en la misma alcantarilla y posteriormente a la misma planta de tratamiento. La planta de tratamiento recibe el agua contaminada de un área de aportación de 5 hectáreas siendo la población de aproximadamente 980 personas.



**Fuente:** Departamento técnico de la EMAPA

**Elaborado por:** Personal del departamento técnico de la EMAPA

Imagen 22

