



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA**

**TEMA:**

---

**“EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y DE USO AGRÍCOLA PREVIAMENTE CARACTERIZADAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

---

Trabajo de Investigación (Graduación), Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente 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: Rebeca Abigail Poveda O.**

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

**AMBATO – ECUADOR**

**2014**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR DE TESIS**

En mi calidad de Tutor de trabajo de investigación modalidad TEMI sobre el tema: “EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y DE USO AGRÍCOLA PREVIAMENTE CARACTERIZADAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” de la estudiante Rebeca Abigail Poveda Ocaña egresada de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos e Ingeniería Bioquímica, Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo fue realizado por la persona indicada.

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, Marzo de 2014

---

Ing. Ramiro Velasteguí Sánchez, Ph.D

Tutor

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y DE USO AGRÍCOLA PREVIAMENTE CARACTERIZADAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuesta corresponden exclusivamente Rebeca Abigail Poveda Ocaña, como autora de este trabajo de grado.

Ambato, Marzo del 2014

---

Rebeca Abigail Poveda Ocaña

CI: 180359366-2

**Autora**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS  
CARRERA DE 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 sobre el tema **“EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y DE USO AGRÍCOLA PREVIAMENTE CARACTERIZADAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, de la estudiante Rebeca Abigail Poveda Ocaña.

Ambato, Marzo de 2014

Por constancia firman:

\_\_\_\_\_  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios que por su gran nobleza y bendición me dio el regalo más grande de mi vida, mis padres, hermanos y sobrinas.*

*A mis padres Héctor y Reveca por haberme dado la vida, guiarme, cuidarme, apoyarme en todos los momentos de mi vida, ya que por su sacrificio y esfuerzo constante he logrado obtener mi gran meta anhelada.*

*A mis hermanos porque han sido mis segundos padres y siempre están a mi lado compartiendo cada momento y formando una gran parte esencial de mi vida.*

*Y al resto de mi familia que de una u otra manera siempre estuvieron junto a mí dándome su apoyo y ayuda en los buenos y malos tiempos.*

*Rebeca Abigail Poveda Ocaña*

## **AGRADECIMIENTO**

Me llena de profunda satisfacción agradecer a la Universidad Técnica de Ambato por haberme acogido desde el inicio de mi carrera universitaria.

De manera especial a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, a todas sus autoridades, docentes y demás personal quienes fueron una parte clave para mi desarrollo académico.

Al Doctor Ramiro Velasteguí, director de la tesis quien por ser una magnífica persona y con su experiencia y profesionalismo me ayudó a conseguir mi meta aspirada.

A los laboratorios Plantsphere Laboratories (PSL) y a todo su equipo de trabajo por haberme brindado su ayuda y colaboración en el desarrollo de esta investigación, de manera especial al Doctor Carlos Falconi Borja quien con su experiencia y conocimiento supo guiarme paso a paso en este arduo camino hacia el éxito de mi objetivo.

A la empresa EM-EMAPA-A por permitirme realizar parte de mis análisis sobre la calidad agua en sus laboratorios, de manera muy especial a la Doctora Jeannette Días por su apoyo y colaboración.

Y en general a todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucrados en el desarrollo de este trabajo.

## 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	X
Resumen ejecutivo	XX

### CAPITULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema de investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización	2
1.2.2 Análisis crítico	6
1.2.3 Prognosis	6
1.2.4 Formulación del problema	7
1.2.5 Preguntas directrices	7
1.2.6 Delimitación	7
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos	10
2.2 Fundamentación filosófica	12

2.3	Fundamentación legal	12
2.4	Categorías fundamentales	16
2.4.1	Marco Teórico de la Variable Independiente	16
2.4.1.1	Evaluación de especies acuáticas flotantes	16
2.4.1.2	Caracterización de las plantas acuáticas flotantes	17
2.4.1.3	Especies acuáticas flotantes	27
2.4.2	Marco Teórico de la Variable Dependiente	28
2.4.2.1	Fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola	29
2.4.2.1.1	Agua	29
2.4.2.1.2	Contaminación del agua	30
2.4.2.1.3	Aguas residuales	32
2.4.2.2	Fitorremediación	34
2.4.2.3	Tratamiento Biológico de aguas residuales	36
2.5	Hipótesis	36
2.6	Señalamiento de variables	37

### **CAPITULO III METODOLOGÍA**

3.1	Modalidad básica de la investigación	38
3.2	Nivel o tipo de investigación	38
3.3	Población y muestra	38
3.4	Operacionalización de variables	42
3.5	Plan de recolección de información	43
3.6	Plan de procesamiento de la información	48

### **CAPITULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Análisis de los resultados	50
4.2	Interpretación de datos	52



4.3 Verificación de hipótesis	56
-------------------------------	----

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones	57
5.2 Recomendaciones	58

## **CAPITULO VI PROPUESTA**

6.1 Datos informativos	59
6.2 Antecedentes de la propuesta	60
6.3 Justificación	61
6.4 Objetivos	63
6.4.1 Objetivo General	63
6.4.2 Objetivos Específicos	63
6.5 Análisis de factibilidad	63
6.6 Fundamentación	67
6.7 Metodología	69
6.8 Administración	71
6.9 Previsión de la evaluación	71

## **REFERENCIAS**

Bibliografía	72
Anexos	86

## ANEXOS A

### TABLA DE RESULTADOS

**Tabla A-1:** Variación de pH del agua en el que se están desarrollando las distintas especies vegetales

**Tabla A-2:** Variación de la conductividad eléctrica (us/cm) del agua en el que se están desarrollando las distintas especies vegetales

**Tabla A-3:** Producción de biomasa (g) de las distintas especies vegetales

**Tabla A-4:** Datos obtenidos del número de hojas verdes de las distintas especies vegetales en el agua usada como testigo: Agua destilada

**Tabla A-5:** Datos obtenidos del número de hojas verdes de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual de uso agrícola: Agua del Río Pachanlica

**Tabla A-6:** Datos obtenidos del número de hojas verdes de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual industrial: Agua del lavado de jeans

**Tabla A-7:** Datos obtenidos del peso seco y húmedo (g) de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica)

**Tabla A-8:** Datos obtenidos del peso seco y húmedo (g) de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual industrial (lavadora de jeans)

**Tabla A-9:** Resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológico de la muestra de agua residual industrial (Lavadora de Jeans) tomados durante el proceso de fitorremediación

**Tabla A-10:** Comparación de los resultados finales del agua de Jeans con los límites máximos permisibles dados por el *Texto Unificado* de la Legislación Ambiental Secundaria.

**Tabla A-11:** Resultados de los parámetros físico-químicos de la muestra de agua residual de uso agrícola tomados durante el proceso de fitorremediación

**Tabla A-12:** Comparación de los resultados finales del agua del Río con los límites máximos permisibles dados por el TULAS y las normas INEN para agua potable.

**Tabla A-13:** Costo de las distintas especies vegetales usadas en la investigación

**Tabla A-14.** Estudio Económico para la determinación del mejor tratamiento (Fitorremediación a escala de laboratorio).

## **ANEXOS B**

### **CÁLCULOS ESTADÍSTICOS**

**Tabla B-1:** Producción de biomasa (g/día) y rendimiento (%) de las distintas especies vegetales

**Tabla B-2:** Porcentaje de incidencia del agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica) en las hojas de las distintas especies vegetales

**Tabla B-3:** Porcentaje de incidencia del agua residual industrial (Lavadora de Jeans) en las hojas de las distintas especies vegetales

**Tabla B-4:** Datos de la diferencia de biomasa (Peso seco) de las distintas especies vegetales en las diferentes muestra de aguas residuales usados para el diseño experimental

**Tabla B-5:** Análisis de Varianza para Biomasa - Suma de Cuadrados Tipo III con los datos de la diferencia de biomasa (Peso seco)

**Tabla B-6:** Prueba de Tukey para la determinación del mejor tratamiento con el uso de las 5 especies).

**Tabla B-7:** Prueba de Tukey para determinación del mejor tratamiento de las tres macrófitas de menor tamaño.

**Tabla B-8:** Valoración de las dos especies vegetales en relación a los parámetros evaluados durante el proceso de fitorremediación para determinar el mejor tratamiento en la muestra de agua residual industrial (Lavadora de Jeans)

**Tabla B-9:** Valoración de las dos especies vegetales en relación a los parámetros evaluados durante el proceso de fitorremediación para determinar el mejor tratamiento en la muestra de agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica)

**Tabla B-10:** Tabla final para la determinación del mejor tratamiento desde el punto de vista técnico.

## **ANEXOS C**

### **GRÁFICOS**

**Gráfico C-1:** Comparación del pH del agua en las que se están desarrollando las distintas especies vegetales.

**Gráfico C-2:** Comparación de la Conductividad eléctrica (us/cm) del agua en las que se están desarrollando las distintas especies vegetales.

**Gráfico C-3:** Producción de biomasa (g) de la especie: Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)

**Gráfico C-4:** Producción de biomasa (g) de la especie: Trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)

**Gráfico C-5:** Producción de biomasa (g) de las 3 macrófitas acuáticas flotantes pequeñas: Salvinia (*Salvinia* spp.), Azolla (*Azolla* spp.) y Lenteja de agua (*Lemna* spp.)

**Gráfico C-6:** Comparación de producción de biomasa (g) / día de las distintas especies

**Gráfico C-7:** Comparación de porcentaje de rendimiento de las distintas especies.

**Gráfico C-8:** Comparación de porcentaje de incidencia del agua de uso agrícola (Río Pachanlica) en las distintas especies vegetales

**Gráfico C-9:** Comparación de porcentaje de incidencia del agua residual industrial (Lavadora de Jeans) en las distintas especies vegetales

**Gráfico C-10:** Resultado de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para la determinación del mejor tratamiento.

**Gráfico C-11:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Dureza (ppm)

**Gráfico C-12:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Cloruros (ppm)

**Gráfico C-13:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Alcalinidad (ppm)

**Gráfico C-14:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Conductividad eléctrica (us/cm)

**Gráfico C-15:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Nitratos (ppm)

**Gráfico C-16:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Nitritos (ppm)

**Gráfico C-17:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Sólidos Totales (ppm)

**Gráfico C-18:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Sólidos totales disueltos (ppm)

**Gráfico C-19:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Sólidos Suspendidos (ppm)

**Gráfico C-20:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Turbidez (NTU)

**Gráfico C-21:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: pH

**Gráfico C-22:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Demanda Química de Oxígeno (ppm)

**Gráfico C-23:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Demanda Bioquímica de Oxígeno (ppm)

**Gráfico C-24:** Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: E. coli Fecal (NMP/ 100 ml)

**Gráfico C-25:** Resultado de la especie que presenta mejor resultados para la fitorremediación de agua residual industrial (Lavadora de jeans)

**Gráfico C-26:** Resultado de la especie que presenta mejor resultados para la fitorremediación de agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica)

## **ANEXOS D**

### **PROTOCOLOS PARA EL ANÁLISIS DE LABORATORIO**

**D-1:** Parámetro: Dureza

**D-2:** Parámetro: Alcalinidad

**D-3:** Parámetro: Conductividad eléctrica

**D-4:** Parámetro: Color

**D-5:** Parámetro: pH

**D-6:** Parámetro: Turbidez

**D-7:** Parámetro: Nitritos

**D-8:** Parámetro: Cloruros

**D-9:** Parámetro: Sólidos totales (ST), suspendidos (SS) y disueltos (SD)

**D-10:** Parámetro: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

**D-11:** Parámetro: Demanda Química De Oxígeno (DQO)

**D-12:** Parámetro: Detergentes

**D-13:** Parámetro: Grasas y aceites

**D-14:** Parámetro: Determinación de coliformes fecales por filtración por membrana

## **ANEXOS E**

### **DOCUMENTOS**

Aprobación de EM-EMAPA-A para el desarrollo de las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en el laboratorio de Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento CASIGANA.

## **ANEXOS F**

### **IMÁGENES**

**Imagen F-1:** Vista frontal del agua residual de uso agrícola usada para la investigación (Río Pachanlica-Sector Totoras)

**Imagen F-2:** Condiciones actuales del Río Pachanlica

**Imagen F-3:** Condiciones de la vegetación aledaña al Río Pachanlica

**Imagen F-4:** Toma de la muestra del agua del Río Pachanlica

**Imagen F-5:** Agua residual industrial resultante de la industria de la lavadora de Jeans

**Imagen F-6:** Planta de tratamiento del agua residual del Jeans

**Imagen F-7:** Muestras de agua utilizadas en la primera parte de la investigación

**Imagen F-8:** Inicio del proceso de adaptación de la especie azolla (*Azolla spp.*)

**Imagen F-9:** Inicio del proceso de adaptación de la especie lenteja de agua (*Lemna spp.*)

**Imagen F-10:** Inicio del proceso de adaptación de la especie trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)

**Imagen F-11:** Inicio del proceso de adaptación de la especie Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)

**Imagen F-12:** Inicio del proceso de adaptación de la especie salvinia (*Salvinia spp.*)

**Imagen F-13:** Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)



**Imagen F-14:** Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)

**Imagen F-15:** Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: azolla (*Azolla spp.*)

**Imagen F-16:** Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: lenteja de agua (*Lemna spp.*)

**Imagen F-17:** Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: salvinia (*Salvinia spp.*)

**Imagen F-18:** Inicio de la fase de pre-selección de las 3 macrófitas de menor tamaño.

**Imagen F-19:** Inicio de la fase de pre-selección de las 2 macrófitas de mayor tamaño.

**Imagen F-20** Imagen en el estéreo microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual en la planta acuática flotante

**Imagen F-21:** Imagen en el estéreo microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual en la planta acuática flotante: lenteja de agua (*Lemna spp.*)

**Imagen F-22:** Imagen en el estéreo microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual industrial en la planta acuática flotante: azolla (*Azolla spp.*)

**Imagen F-23:** Imagen en el microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual industrial en la planta acuática flotante: lechuguín (*Eichhornia crassipes*)

**Imagen F-24:** Imagen de la estructura de la planta en la que más daño causo los contaminantes del agua residual industrial en la planta acuática flotante: trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)

**Imagen F-25:** Muestras de agua utilizadas en la segunda parte de la investigación

**Imagen F-26:** Inicio de la fase etapa de pre-selección.

**Imagen F-27:** Apariencia de la planta acuática flotante Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) antes y después del proceso de secado.

**Imagen F-28:** Apariencia de la planta acuática flotante trébol de agua (*Limnobium laevigatum*) antes y después del proceso de secado.

**Imagen F-29:** Apariencia de la planta acuática flotante azolla (*Azolla spp.*) antes y después del proceso de secado.

**Imagen F-30:** Apariencia de la planta acuática flotante lenteja de agua (*Lemna spp.*) antes y después del proceso de secado.

**Imagen F-31:** Imagen F-30: Apariencia de la planta acuática flotante salvinia (*Salvinia spp.*) antes y después del proceso de secado.

**Imagen F-32:** Estanques de fitorremediación con lenteja de agua (*Lemna spp.*) para el agua residual de uso agrícola (Río) a escala de laboratorio.

**Imagen F-33:** Estanques de fitorremediación con Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) para el agua residual de uso agrícola (Río) a escala de laboratorio.

**Imagen F-34:** Estanques de fitorremediación con lenteja de agua (*Lemna spp.*) para el agua residual industrial (Lavadora de Jeans) a escala de laboratorio.

**Imagen F-35:** Estanques de fitorremediación con Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) para el agua residual industrial (Lavadora de Jeans) a escala de laboratorio.

**Imagen F-36:** Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

**Imagen F-37:** Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

**Imagen F-38:** Determinación de grasas y aceites

**Imagen F-39:** Determinación de la turbidez

**Imagen F-40:** Determinación de los sólidos totales (ST) y sólidos disueltos (SD)

**Imagen F-41:** Determinación de Coliformes fecales

**Imagen F-42:** Determinación del pH

**Imagen F-43:** Determinación del nitratos, nitritos, cloruros

**Imagen F-44:** Determinación de la alcalinidad

**Imagen F-45:** Determinación de la dureza

**Imagen F-46:** Laboratorio de aguas residuales de la EM-EMAPA-A

## RESUMEN EJECUTIVO

El propósito principal del presente estudio “Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua” fue la exposición de las distintas especies acuáticas a muestras de aguas residuales industrial (lavadora de jeans) y de uso agrícola (Río Pachanlica) para determinar su uso potencial como especies fitorremediadoras y así cumplir con las normas ambientales vigentes en el país que se encuentran en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) y Norma INEN.

La evaluación consistió en la exposición de las distintas especies acuáticas flotantes: Azolla (*Azolla spp.*), Lenteja de agua (*Lemna spp.*), Salvinia (*Salvinia spp.*), Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el Trébol de agua (*Limnobium laevigatum*) a las muestras de aguas residuales. Se analizó el porcentaje de incidencia de las muestras de agua en las especies acuáticas tomando datos semanales del número de hojas verdes. Y para la determinación del porcentaje de producción de biomasa se tomó datos semanales del peso seco y se determinó el mejor tratamiento con la utilización del programa estadístico Statgraphics y prueba de TUKEY al 95% de confianza. Los resultados finales fueron que el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna spp.*), son las plantas más promisorias para poner en marcha un proceso de fitorremediación.

Para conocer las características de las muestras de aguas residuales se analizó: pH, conductividad eléctrica, Sólidos totales, Sólidos disueltos, sólidos suspendidos, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Grasas y aceites, detergentes, coliformes fecales, color, turbidez, alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos y cloruros; durante 3 semanas y mediante graficas comparativas, cuadro de ponderaciones se determinó que las dos especies producían una disminución en la mayoría de los parámetros

analizados, cabe recalcar que en el caso del agua residual industrial el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es la mejor especie, mientras que en el agua residual de uso agrícola las dos especies demuestran resultados similares.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Tema de investigación:

“Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua”

### 1.2 Planteamiento del problema:

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas que proceden de las actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas. Estos compuestos representan una amenaza para los seres vivos, por lo que se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Los métodos convencionales suelen ser costosos y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan (Padmavathiamma y Li, 2007).

Según Diario El Comercio (2012), en Tungurahua está plenamente establecida y verificada la existencia de aguas contaminadas en cursos y reservorios así como la vigencia de aguas residuales contaminadas utilizadas en actividades industriales y de uso agrícola las mismas que son descargadas sin tratamiento alguno a fuentes de agua dulce.

La fitorremediación 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 raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (Núñez et al., 2004).

Hay plantas que tienen la interesante capacidad de limpiar los ambientes contaminados. Pueden acumular o transformar sustancias tóxicas que aparecen en el suelo o el agua, ya sea por accidente (por ej. derrame de petróleo), por la actividad del hombre (por ej. desechos industriales) o por cuestiones geológicas (por ej. altos niveles de arsénico en las aguas subterráneas). Se conocen unas 400 especies que pueden acumular selectivamente alguna sustancia. La mayoría son muy conocidas, como el girasol (para el uranio) y el álamo (para el níquel, cadmio y zinc), dentro de una lista donde están también la alfalfa, la mostaza, el tomate, el zapallo y el sauce (ArgenBio, 2007).

Plantas acuáticas flotantes: También son denominadas macrófitas acuáticas flotantes tienen la capacidad de doblar su biomasa en muy escasos días, y cuando se proporciona una fertilización adecuada, sus rendimientos son considerables. Los ejemplos más representativos son: la lenteja de agua o lemna (*Lemna spp*), azolla (*Azolla spp*), la espinaca acuática (*Ipomoea aquatica*), lirio acuático o lechuguín (*Eichhornia crassipes*), Salvinia (*Salvinia minima*), Helecho de agua (*Azolla caroliniana*), Lechugas de agua (*Pistia stratiote*), Oreja de elefante (*Salvinia auriculata*), Pita de agua (*Stratiotes aloides*), entre otras (Ly, s/f).

Plantas no flotantes: Denominadas también plantas acuáticas sumergidas; esta categoría de plantas reagrupa todas las especies en las que las raíces y el follaje se desarrollan bajo el agua. Este tipo de plantas contribuye a la oxigenación del agua. Éstas juegan un papel importante asegurando una aportación regular de oxígeno a la flora y a la fauna. Como por ejemplo: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagitaria latifolia*) y tule (*Thypa dominguensis*), totora (*Scirpus californicus*), Papiro (*Cyperus papyrus*), entre otras (Florpedia, 2008).

### **1.2.1 Contextualización:**

#### **Macro:**

El consumo global de agua dulce se ha multiplicado por 6 entre 1900 y 1995 mientras que la población sólo lo ha hecho por 3. La agricultura se lleva el 70%

de agua dulce consumida por el uso de técnicas de riego inapropiadas. El consumo industrial se doblará en el 2050. El consumo urbano también aumenta con la renta per cápita, sobre todo en usos recreativos (campos de golf, parques y jardines, etc) y derivados del turismo. En los países en desarrollo, entre el 90 y el 95 por ciento de las aguas residuales y el 70 por ciento de los desechos industriales se vierten sin ningún tratamiento en aguas potables que consecuentemente contaminan el suministro del agua utilizable (Ramírez, s/f).

En lo relacionado a la fitorremediación de aguas residuales industriales y de uso agrícola tenemos estudios a nivel mundial realizados especialmente en México, ya que éste es uno de los principales potenciadores de este tipo de técnicas y de investigaciones relacionadas a esta temática. Así tenemos autores como Núñez et al. (2004) que mencionan a la fitorremediación como una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados y Torres (2012), que investigó la fitorremediación de aguas residuales por hidroponía, dando excelentes resultados.

Además una de las principales aplicaciones es sobre la contaminación de manglares por derrames de petróleo a nivel mundial y en México. En este caso se investiga el uso de diversas estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración que permiten dar una respuesta a corto y mediano plazo (Olguín et al., 2007).

**Meso:**

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales (Reynolds, 2002).



Actualmente se están realizando diversos tipos de investigaciones y aplicaciones con el uso de plantas acuáticas para la remediación de aguas residuales contaminadas en países de Latino América como en Argentina (Fitorremediación para aplicación en el agro ecosistema argentino el cual constituye una estrategia de bajo costo y alta compatibilidad con el medio ambiente que puede ser aplicada sola o asociada a otros métodos para el tratamiento de una amplia variedad de contaminantes ambientales, incluyendo los hidrocarburos aromáticos policíclicos, frecuentemente encontrados en el medioambiente). En Chile (Fitorremediación de hidrocarburos volátiles). Además en Argentina tenemos varias especies fitorremediadoras entre éstas la *Discaria americana*, la cual podría ser empleada con éxito en el tratamiento de contaminantes como metales pesados en un proceso que se conoce como fitorremediación (Lumelli, 2010).

**Micro:**

En relación al tratamiento y calidad del agua que se consume en el país las cifras pueden causar conmoción, pues a nivel nacional, solo el 8 por ciento del total de las aguas residuales son tratadas, convirtiéndose esa en una de las principales causas de contaminación de los ríos, según la Secretaría Nacional del Agua (Senagua). Las aguas residuales son las generadas en cada vivienda e industrias y caracterizadas por la presencia de heces fecales o coliformes (Ortega y Poveda, s/f).

En el 2009 el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (Miduvi) determinó que apenas un 20 por ciento de sus aguas residuales tenían un tratamiento completo, mientras que el 80 por ciento restante cumplía con un tratamiento primario. Uno de los más escasos ejemplos del tratamiento que se está realizando en el Ecuador con el uso de los métodos convencionales que según Ortega y Poveda, (s/f) es Cuenca, la cual va a la vanguardia puesto que en las lagunas de oxidación de Ucubamba que funcionan a 2.500 metros de altura, se tratan a diario 1.166 litros de aguas residuales por segundo. El funcionamiento

de esta planta de aguas residuales inició en 1999 y actualmente trata el 95 por ciento del agua que se desecha.

Cabe recalcar que existen métodos alternativos para el tratamiento de aguas industriales y de uso agrícola, un ejemplo claro es el caso de la fitorremediación. Un ejemplo significativo de este método alternativo es el caso de la descontaminación del Lago San Pablo en Ibarra, donde según datos de la CEPAL, (s/f) este proyecto ganó el tercer lugar en la temática Experiencias en Innovación Social (2006-2007). Este proyecto consistió en la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que utiliza la lenteja acuática y el lechuguín como descontaminantes. Las aguas descontaminadas en un 90% se usan para regar las totoras, materia prima utilizada por la comunidad en la producción de artesanías. Además que la lenteja acuática que se cultiva en las piscinas de descontaminación se vende como abono natural, mientras que el lechuguín sirve de alimento para animales como por ejemplo los cerdos.

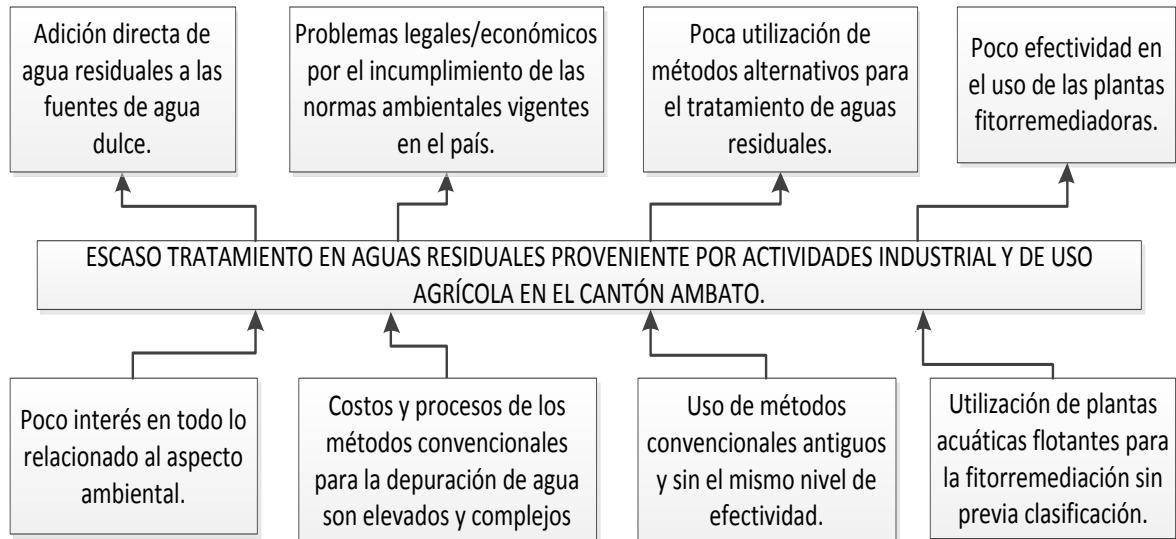
En la provincia de Tungurahua se tiene varios estudios realizados y en ejecución por la Universidad Técnica de Ambato relacionados con el uso de plantas acuáticas para la biorremediación (Fitorremediación) de aguas residuales contaminadas, como ejemplos tenemos: Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación "El Peral", Emapa-Ambato (Fiallos, 2011). Fitorremediación de las aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo. Salcedo-Cotopaxi (Pozo, 2012).

Y un proyecto en ejecución: Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la Planta de Tratamiento "El Peral" EP-Emapa Ambato (Viteri, 2013).

Además proyectos de vinculación realizados por Velasteguí et al. (2011-2012) como es el caso del levantamiento de información del sector de la acequia Albornoz – Naranjo (Pelileo, Tungurahua), la evaluación de la calidad del agua

de la acequia Albornoz-Naranjo, parroquias Salasaca, El Rosario y Chiquicha, y la calificación de la calidad del agua de la acequia e instalación de dispositivos ecológicos piloto para su descontaminación.

### 1.2.2 Análisis crítico:



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

### 1.2.3 Prognosis:

Al no realizarse esta investigación no se ayudaría, ni contribuiría a encontrar una solución alternativa del efecto contaminante que producen las aguas residuales producto de varias actividades humanas como son actividades industriales, actividades agrícolas, etc. Como ejemplos muy específicos en la provincia de Tungurahua tenemos la contaminación producto de la industria del cuero, que es una de las principales contaminantes así como también las demás industrias que arrojan sus desechos al alcantarillado sin tratamiento previo.

En el caso de las aguas residuales de uso agrícola tenemos la contaminación de varias fuentes de agua dulces (ríos, acequias) las cuales son utilizadas por las comunidades aledañas para la elaboración de sus alimentos en algunos

casos, para bebida de los animales y para el riego de los cultivos, así como para el lavado de su ropa, etc.

Además no se estaría explotando la capacidad fitorremediadora de algunas especies vegetales en beneficio de los seres vivos que se ven afectados directa e indirectamente por estar en contacto con las aguas residuales industriales y de uso agrícola.

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

¿Cuál es influencia de la evaluación de las especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas?

#### **1.2.5 Preguntas directrices:**

¿Cuál es la variación de las condiciones ambientales en las que se desarrollan las distintas especies acuáticas flotantes para la determinación del porcentaje del rendimiento de biomasa?

¿Cómo determinar la eficiencia de la fitorremediación con las especies vegetales en las muestras de aguas seleccionadas?

¿Cuál es el mejor tratamiento de fitorremediación con el uso de plantas acuáticas flotantes desde el punto de vista de su viabilidad técnica y económica?

#### **1.2.6 Delimitación:**

**Área:** BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**Sub-área:** FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS

**Sector:** BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS

**Sub-sector:** AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y DE USO AGRÍCOLA

**Temporal:** 9 meses

**Espacial:** Laboratorios de la UTA y laboratorios de análisis de agua residuales (EM-EMAPA-A).

### **1.3 Justificación:**

El tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas se llama fitorremediación, ha despertado un gran interés en la investigación por el potencial que presenta para la depuración de la misma. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral, en el cual no solo se remueven eficientemente material orgánico y sólido suspendido sino también se logra reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados, organismos patógenos. En nuestro país se debe investigar y desarrollar el uso de alternativas que aprovechen y apliquen los procesos naturales en el ecosistema para depurar las aguas contaminadas. Puesto que las tecnologías convencionales que han sido investigadas y utilizadas en los países desarrollados, pueden ser muy eficientes pero generalmente los costos son muy altos, tanto de construcción como de operación, para mejorar la salud de la población y del medio ambiente (Jaramillo y Flores, 2012).

El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Singh y Jain, 2003; Reichenauer y Germida, 2008).

En los últimos años se ha aumentado la contaminación del agua debido al incremento de las actividades industriales, agrícolas, etc. Las tecnologías convencionales que han sido aplicadas desde años atrás han dado resultados positivos, pero con impactos negativos para el ambiente, puesto que los químicos que se utilizan para el tratamiento, pueden ocasionar otro tipo de contaminación como la del suelo cuando se desecha los residuos de dichos químicos.

Además, se debe tomar en cuenta que se estaría cumpliendo con los principios de la llamada química verde o química sustentable que consiste en el uso de la química para prevenir la contaminación a través del diseño de productos y

procesos químicos que sean ambientalmente benignos. Se trata de una herramienta imprescindible cuando se hace necesario introducir mejoras tecnológicas ya que se ocupa de estudiar y modificar todos los aspectos de los procesos químicos que generen impactos negativos tanto sobre la salud humana como sobre el ambiente (Varsavsky, s/f). Y con el uso de la fitorremediación (tratamiento alternativo y ecológico) se estaría evitando el uso de químicos, y aprovechando los beneficios que nos brindan varias especies de plantas.

Esta investigación puede ser una alternativa en el aspecto económico puesto que se utilizaría recursos naturales y se disminuiría la compra de los servicios costosos que varias empresas privadas ofertan para el tratamiento de aguas residuales. Además se tendría un ingreso económico extra con la elaboración de abonos verdes con las plantas que hayan cumplido con su trabajo depurativo.

#### **1.4 Objetivos:**

##### **1.4.1 Objetivo General:**

- Evaluar distintas especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

##### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- Identificar la variación de las condiciones ambientales en las que se desarrollan las distintas especies acuáticas flotantes para la determinación del porcentaje del rendimiento de biomasa.
- Determinar la eficiencia de la fitorremediación con las especies vegetales en las muestras de aguas seleccionadas.
- Seleccionar el mejor tratamiento de fitorremediación con el uso de plantas acuáticas flotantes desde el punto de vista de su viabilidad técnica y económica.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes investigativos:

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. Si bien la factibilidad de su empleo aún está siendo evaluada desde diferentes perspectivas, los estudios de que se dispone coinciden en señalar que se trata de una técnica más limpia, simple, efectiva y aún de menor costo, en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad (Lumelli, 2010).

Se han hecho investigaciones a nivel internacional como por ejemplo el estudio sobre los fundamentos y aplicaciones de la fitorremediación elaborado en la ciudad de México. Según Núñez et al. (2004), la fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. Además, los autores mencionan que en México es necesario crear recursos humanos y financieros en este campo emergente. De igual manera tenemos otras investigaciones realizadas por Delgado et al. (2011), con el tema Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación y la de Torres (2012), con la temática Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía.

Existen investigaciones realizadas en países de América Latina como el de Venezuela elaborado por Auxilia, et al. (s/f), con el tema Fitorremediación de aguas residuales contentivas de cromo con especies de la familia *Cannaceae*. En Colombia se investigó sobre la Fitorremediación como la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos, elaborada por Agudelo et al. (2005).

A nivel nacional existen varios trabajos de investigación que han sido ejecutados por las universidades como por ejemplo: En la Universidad Técnica de Ambato: Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación “El Peral”, Emapa-Ambato (Fiallos, 2011). Fitorremediación de las aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo. Salcedo–Cotopaxi (Pozo, 2012) y Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la Planta de Tratamiento “El Peral” EP-Emapa Ambato (Viteri, 2013).

Además proyectos de vinculación por Velasteguí et al, (2011-2012). Y en otras instituciones nacionales tales como la Universidad Politécnica Salesiana: investigación de Jaramillo y Flores (2012), la Espe, la Epoch, la Universidad Central, la Universidad Técnica del Norte.

Un ejemplo claro sobre la aplicación de este nuevo tipo de método de fitorremediación a una gran escala es la relacionada a la descontaminación del Lago San Pablo en Ibarra, por medio de una planta de tratamiento de aguas residuales que utiliza la lenteja acuática y el lechuguín como descontaminantes. Las aguas descontaminadas en un 90% se usan para regar las totoras, materia prima utilizada por la comunidad en la producción de artesarias.

Cabe mencionar que en nuestro país se realiza ya aplicación de plantas acuáticas como sistemas de tratamiento del agua para su posterior utilización a pequeña escala como en el caso de la granja agroecológica ubicada en el cantón Píllaro en donde existe la presencia de estanques con lechuguín y azolla; otro caso es el de la florícola Ecoroses ubicada en Machachi en donde hay estanque con la especie azolla.

Además, según el Diario El Comercio (2012), para ayudar en la reducción de la contaminación, en la Dirección de Higiene y Medio Ambiente del Municipio de Ambato se analiza un proyecto de gran magnitud. “Se propone la construcción de una planta general para el tratamiento de las aguas industriales. Su costo



sería de USD 24 millones y ocuparía 4 hectáreas. En cuanto a las industrias que han vuelto más limpios sus procesos de producción constan 42 lavadoras de jeans en el cantón Pelileo (Tungurahua). Según Óscar López, director de Ambiente de ese Cabildo, cada lavadora ya tiene instalado un equipo para tratar las aguas residuales. A la par, presentaron las muestras al laboratorio de la Epoch y los resultados reflejan que el líquido se evacúa con menores niveles de contaminación y con más oxígeno”.

## **2.2 Fundamentación filosófica:**

Entre los paradigmas que se van a utilizar en esta investigación tenemos:

Paradigma Positivista: Juzga como válidos los hechos que pueden ser captados por los sentidos y sometidos a verificación cuantitativa. Busca hechos o causas de los fenómenos sociales con independencia de los estados subjetivos de los individuos, por lo tanto, para los paradigmas la única fuente del conocimiento es la percepción. Todo enunciado científico adquiere sentido en su descripción y posterior transformación de los datos (Sánchez, 2011).

El Paradigma conductista señala que el aprendizaje debe enfocarse en fenómenos observables y medibles. Sus fundamentos nos hablan de un aprendizaje producto de una relación "estímulo - respuesta". El aprendizaje únicamente ocurre cuando se observa un cambio en el comportamiento. Si no hay cambio observable no hay aprendizaje (Luna, 2011).

## **2.3 Fundamentación legal:**

En la Constitución del Ecuador encontramos en el Título II sobre Derechos, Capítulo segundo sobre Derechos del "Buen Vivir". En donde se debe tomar en cuenta las siguientes secciones y artículos:

Sección primera - Agua y alimentación

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

Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.

El Estado ecuatoriano promoverá la soberanía alimentaria.

#### Sección segunda - Ambiente sano

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 prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Esto trata sobre la importancia que tiene el agua y el ambiente para el buen vivir de las personas y demás seres vivos además, que se debe promover el uso de tecnologías ambientalmente limpias como es el caso de la fitorremediación de las aguas residuales.

De igual manera, se menciona varias normas INEN, TULAS puesto que como se conoce luego el agua que fue sometida a la fitorremediación podrá ser reutilizada posteriormente en varias aplicaciones.

Se debe tomar en cuenta la norma:

NTE INEN 1108:2011 (Agua potable. Requisitos)

Además existen las tablas del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro 6, Anexo 1 que trata sobre las normas de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua.

#### Criterios generales de descarga de efluentes

Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.

Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.

Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.

Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios.

#### La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

- c) Agrícola (Criterios de calidad de aguas de uso agrícola)
- d) Pecuario (Criterios de calidad para aguas de uso pecuario)
- e) Recreativo (Criterios de calidad para aguas con fines recreativos)

En nuestra provincia también se estudia la problemática que ocasiona las aguas residuales y por tal razón la Municipalidad del Cantón Ambato en uso de las

atribuciones contempladas en el artículo 123 de la Ley Orgánica del Régimen municipal expide:

La Ordenanza Municipal para la prevención y control de la contaminación ambiental ocasionada por las actividades agroindustriales, industriales, artesanales, domésticas y de servicios en el Cantón Ambato.

A continuación se describen las partes de la ordenanza en donde se menciona al recurso AGUA:

## TÍTULO I

### CAPÍTULO III

#### OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

Art. 5: Límites máximos permisibles

Los desechos líquidos, sólidos y emisiones a la atmósfera, generados por las actividades industriales, agroindustriales, artesanales o de servicio, deberán someterse a los niveles máximos permisibles establecidos.

Art. 6: Contaminación del Agua

Se sujeta a control todo desecho consistente en efluentes líquidos de fuentes fijas, que se descarguen en los canales del alcantarillado público o directamente en los cursos hídricos del Cantón Ambato.

## TÍTULO IV

### CAPÍTULO I

#### DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Art. 52: Esta norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

Consumo humano y de uso doméstico

Preservación de flora y fauna

Calidad de aguas para el uso agrícola o de riego

Calidad para aguas de uso pecuario

Calidad para aguas con fines recreativos

Calidad para aguas de uso estético

Art. 53: Criterios generales de descarga de efluentes

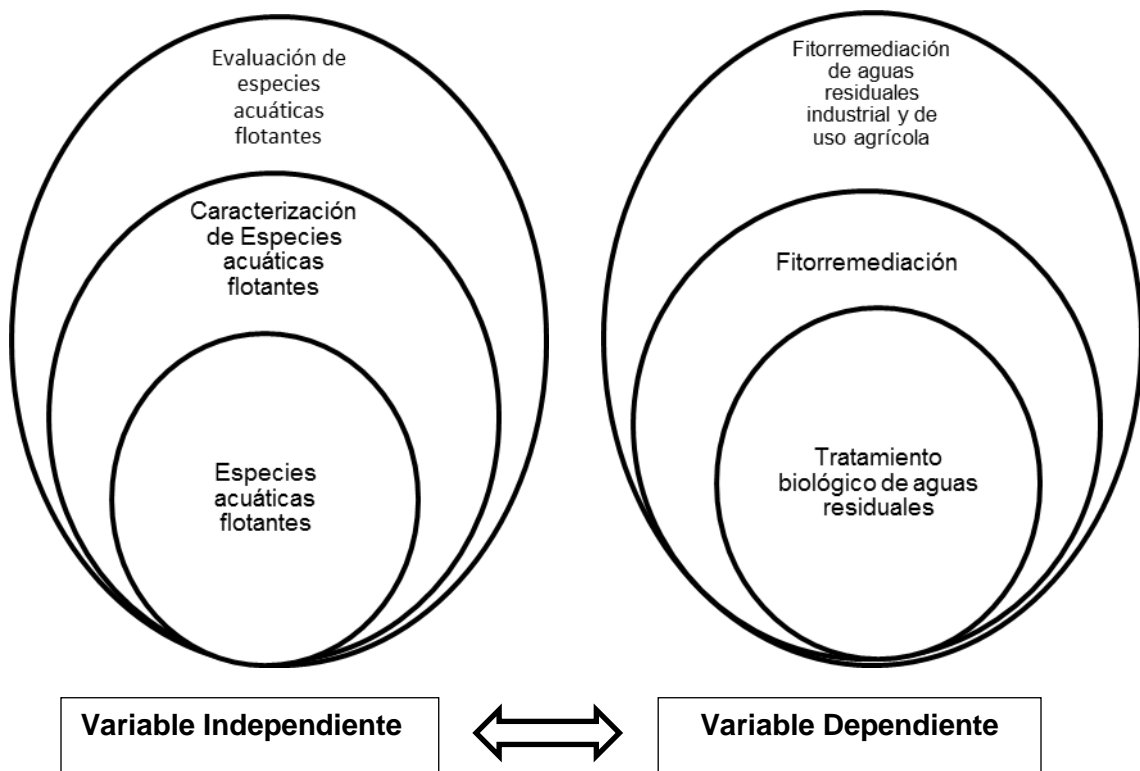
Se descargarán los efluentes previamente tratados, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.

## CAPÍTULO II

### DE LAS DESCARGAS DE LOS EFLUENTES

En el art. 55 hasta el art. 65 se mencionan los parámetros de descarga, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua dulce. Las prohibiciones de la eliminación de los residuos líquidos, lixiviados sin previo tratamiento al alcantarillado público o fuentes de agua dulce.

#### 2.4 Categorías fundamentales:



#### 2.4.1 Marco Teórico de la Variable Independiente:

##### 2.4.1.1 Evaluación de especies acuáticas flotantes:

Para la evaluación de las plantas acuáticas flotantes debemos tomar en cuenta los siguientes conceptos y características:

Las macrófitas acuáticas flotantes tienen la capacidad de doblar su biomasa en muy escasos días, y cuando se proporciona una fertilización adecuada, sus rendimientos son considerables. Existen distintos estimados de rendimiento de estas plantas, cuando se cultivan experimentalmente. Sin embargo, en condiciones de vida cotidiana, en el Lejano Oriente, es común el cultivo de estas plantas (Ly, s/f).

Otras dos variables son el clima y el tipo de efluente utilizado, estos son aspectos que varían la capacidad de remoción. La temperatura más baja reduce la eficiencia en la capacidad de absorción de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno por plantas acuáticas (Zarela, 2012).

Generalmente estas plantas acuáticas crecen favorablemente sobre una zona sin movimiento, libre de competidores como algas, insectos y enfermedades. Las floraciones de algas compiten por nutrientes y provocan un cambio en la circulación del agua, en pH, turbidez, OD. La absorción por estas especies puede variar gradualmente a través de la solución nutritiva dependiendo de la concentración de nutrientes en el medio hasta el 3er y/o 8vo día de crecimiento (Zarela, 2012).

#### **2.4.1.2 Caracterización de las especies acuáticas flotantes:**

##### **Descripción de la especie acuática flotante: *Azolla*:**

El género *Azolla* corresponde a diminutos helechos acuáticos, que flotan libremente en la superficie del agua, es decir plantas pequeñas, acuáticas, flotantes, con numerosas raíces. Originaria de América del Norte y Centroamérica (Cabezas, 2011).

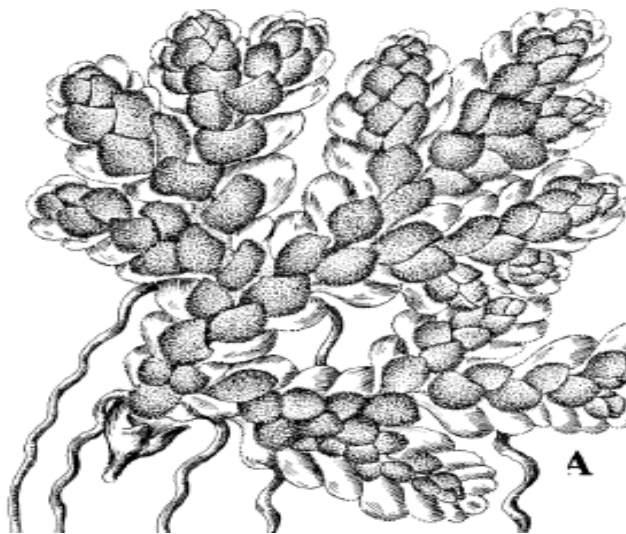
Clasificación taxonómica: La macrófita *Azolla* se encuentra dentro de la siguiente clasificación (García, 2012):

- Reino: *Plantae*
- División: *Pteridophyta*
- Clase: *Pteridopsida*
- Orden: *Salviniales*

- Familia: *Azollaceae*
- Género: *Azolla*

Características morfológicas: Es una planta con raíces que cuelgan hacia abajo en el agua. Cada hoja es bilobulada, el lóbulo superior contiene clorofila verde mientras que el lóbulo inferior es incoloro. (Ly, s/f). EL lóbulo clorofílico contiene cavidades con el alga *Anabaena* (Cabezas, 2011).

**Gráfico 1: Morfología de Azolla (*Azolla spp.*)**



Fuente: Arana y Bianco, 2011

Condiciones del Hábitat: Para que *Azolla* se desarrolle y mantenga el sistema simbiótico en buenas condiciones, es necesario que se cumplan los siguientes factores (Cabezas, 2011):

- Temperatura: Puede soportar un rango bastante amplio, pero no resiste temperaturas inferiores a 0°C o superiores a 35°C.
- pH: Valores de pH entre 6 y 7 son los más adecuados.
- Agua: Es un factor importante debido a que el helecho es sensible a la desecación.
- Iluminación: No presenta problemas con respecto a la luz. En condiciones sombreadas *Azolla* mantiene su color verde natural,

mientras que con la luz directa del sol sus hojas llegan a tornarse de color rojizo debido al pigmento de antocianina.

Reproducción: Se conoce que Azolla duplica su peso cada 17 días en promedio y durante 3 meses que es su ciclo de vida siempre que las condiciones medio ambientales sean favorables (Cabezas, 2011). La multiplicación de las especies de Azolla se realiza por esporas, como es propio de los helechos; y también por división espontánea (brote lateral) de las plantas adultas: la rama más grande tiende a dividirse de la planta madre una vez que alcanza una dimensión suficiente, echando sus propias raíces y convirtiéndose en una nueva planta (Montaño, 2010).

Usos: Entre los principales usos tenemos (Cabezas, 2011):

- Bio-abono para los diferentes cultivos especialmente en donde genera simbiosis como en el cultivo de arroz.
- Azolla por su naturaleza es un hiperacumulador de N<sub>2</sub>, mediante el proceso de FBN (Fijación Biológica de Nitrógeno).
- Azolla puede ser utilizado como fuente alternativa de alimentación (forraje verde), en pequeñas especies (cuyes, conejos, gallinas); por sus valores significativos de proteína, entre otros nutrientes
- Azolla contribuye en el control de plagas acuáticas puesto que en reservorios de agua puede llegar a cubrir toda la superficie bloqueando así el paso de luz y con ello el desarrollo de otros cultivos acuáticos.

### **Descripción de la especie acuática flotante: *Lemna***

Las Lemna o lentejas mayores de agua son macrófitas flotantes que prosperan en aguas estancadas o de corriente lenta. Su crecimiento es muy rápido. Además es una planta perenne localizada en América, Europa, África, Asia y el norte de Australia (Ly, s/f). Se diferencia de la lenteja menor de agua (*Lemna*



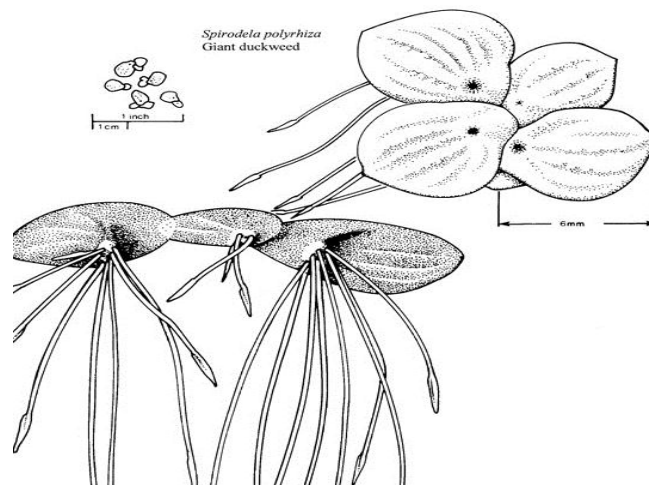
*minor*) por sus hojas mucho más grandes, de color púrpura rojizo bajo la superficie, y múltiples raíces (Rook, 2004).

Clasificación taxonómica: La macrófita lenteja mayor de agua se encuentra dentro de la siguiente clasificación (García, 2012; Rook, 2004):

- Reino: *Plantae*
- División: *Magnoliophyta*
- Clase: *Liliopsida*
- Orden: *Arales*
- Familia: *Lemnaceae*
- Género: *Spirodela*

Características morfológicas: Estas macrófitas tienen una morfología relativamente simple (Ly, s/f). Tienen hojas fusionadas, las cual son aplanadas de color verde en la parte superior y rojo púrpura en la parte inferior. Tienen raíces más o menos de 6 a 12 por fronda (Rook, 2004).

**Gráfico 2: Morfología de la lenteja de agua (*Lemna spp.*)**



Fuente: IFAS, 2000

Condiciones del Hábitat: Las plantas pueden desarrollarse y mantienen buenas condiciones, bajo ciertas características de su hábitat (Arroyave, 2004):

- Temperatura: 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.
- Iluminación: Se adapta bien a cualquier condición.
- pH: Pueden tolerar un rango amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5.

Reproducción: Se reproducen por la vía vegetativa muy fácilmente. Las lemnáceas pueden duplicar su biomasa en cosa de dos o tres días, bajo condiciones ambientales propicias (Ly, s/f). A diferencia de las hojas ordinarias de la mayoría de las plantas, cada fronda de la lenteja de agua contiene brotes de la que más hojas pueden crecer. A medida que crecen, las nuevas hojas emergen a través de aberturas en el lado de sus frondas padres y suelen tener tres o cuatro hojas adjuntas (Rook, 2004).

Usos: Entre las principales aplicaciones se puede mencionar que (Rook, 2004):

- Su aporte es muy importante en el ecosistema como un eslabón esencial en la cadena alimentaria es decir por su alto contenido de grasa y proteína la convierten en una fuente de alimento para los animales y las aves de corral.
- Las lentejas de agua son útiles como un cultivo de agua, ya que pueden aclimatarse a casi todas las condiciones de crecimiento.
- Las lentejas de agua tienen potencial en el tratamiento de aguas residuales, porque absorbe el exceso de nutrientes de las aguas superficiales.

### **Descripción de la especie acuática flotante: *Salvinia***

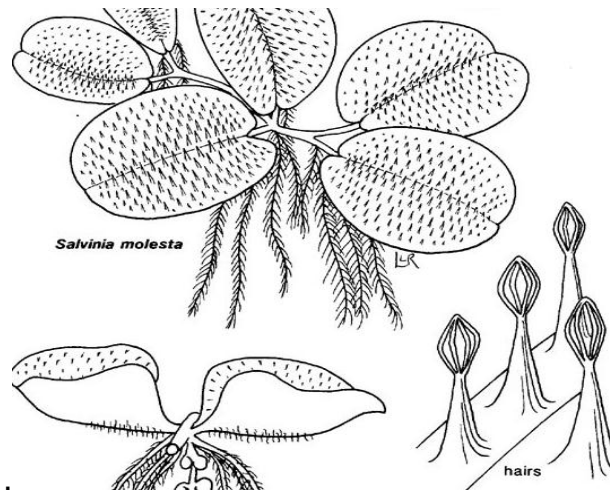
Salvinia es un helecho acuático de flotación libre, con tallos delgados, hojas flotantes (Ensbey, 2009). Es originaria de Brasil (Daff, 2013).

Clasificación taxonómica: La macrófita salvinia se encuentra dentro de la siguiente clasificación (Unal, s/f):

- Reino: *Plantae*
- División: *Pteridophyta*
- Clase: Polypodiopsida
- Orden: *Salviniales*
- Familia: *Salviniaceae*
- Género: *Salvinia*

Características morfológicas: Es un helecho acuático flotante, Sus hojas (frondes) se disponen en grupos de tres (dos flotantes y una sumergida) (Daff, 2013). La forma y el tamaño de las hojas varían con la edad (Ensbey, 2009), se encuentran cubiertas de pelos largos y repelentes al agua, tiesos que se unen en la punta para formar un batidor de huevos (Daff, 2013). Los tallos están sumergidos, son verdes, ramificados y cubiertos de pelos finos (Ensbey, 2009).

**Gráfico 3: Morfología de salvinia (*Salvinia molesta*)**



Fuente: Fuente: IFAS, 2000

Condiciones del Hábitat: Al igual que las otras plantas flotantes, no gusta de la corriente rápida en la superficie y otras condiciones ambientales detalladas a continuación (Mayland, 1990):

- Temperatura: prefieren temperatura entre los 20 a 28°C. climas, aunque las bajas temperaturas reducen su tasa de crecimiento. Además *Salvinia* es una mala hierba de agua dulce de flujo lento o quieto (Ensbey, 2009).
- Se ve favorecida por ambientes ricos en nutrientes como las aguas contaminadas por fertilizantes (León, 2013).

Reproducción: *Salvinia molesta* es capaz de crecer a gran velocidad desde un pequeño fragmento vegetal y doblar su población en pocos días, esto impide el paso de la luz solar en el estanque de agua. Su multiplicación es mediante estolones (Mayland, 1990).

Usos: Tiene cierto potencial como abono, forraje, fabricación de papel o biogás. Sin embargo, el 90 % de su peso es agua lo que deja muy poco material vegetal y por ende poco margen de beneficio (León, 2013).

**Descripción de la especie acuática flotante: Trébol de agua:**

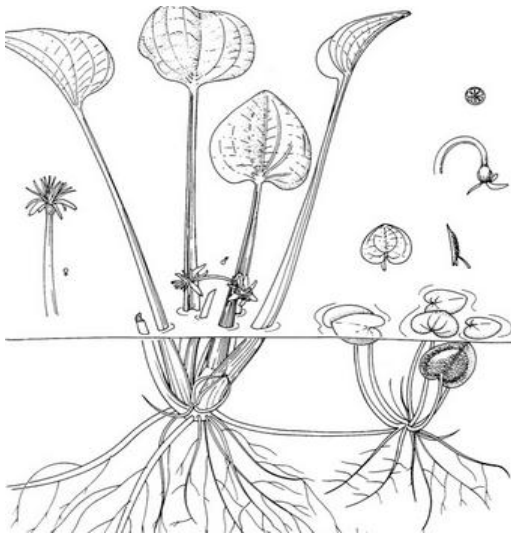
*Limnobium laevigatum* es una macrófita flotante ampliamente distribuida en los países del neotrópico. Debido a su potencial como biorremediador es importante conocer las mejores condiciones que permitan su propagación. Uno de los factores más importantes es la concentración de nutrientes en el medio (Aponte y Pacherres, 2013).

Clasificación taxonómica: El trébol de agua se encuentra dentro de la siguiente clasificación (HS, 2013):

- Reino: *Plantae*
- División: *Magnoliophyta*
- Clase: *Liliopsida*
- Orden: *Hydrocharitales*
- Familia: *Hydrocharitaceae*
- Género: *Limnobium*

Características morfológicas: Planta perenne, poseen estolones; las hojas son ovales y están dispuestas en roseta y son de 10 a 30 mm de ancho, esponjosas, flores masculinas y femeninas separadas (Rodríguez et al., 2006). Las plantas jóvenes tienen una gran capacidad de distribución ya que son pequeñas y pueden ser fácilmente llevados rápidamente por las corrientes de agua (SERCUL, s/f).

**Gráfico 4: Morfología del trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)**



Fuente: IFAS, 2000

Condiciones del Hábitat: Esta especie es mucho más tolerante de temperaturas extremas (SER.CUL, s/f) Temperatura mínima: 1°C-óptima de 18 a 28 °C (Rodríguez et al., 2006).

Reproducción: Esta planta presenta dos tipos de reproducción: a) sexual, por medio de la producción de flores y semillas y b) clonal, por la producción de nuevos clones (de aquí en adelante rametos) que forman parte de una misma planta madre hasta la separación (Aponte y Pacherres,2013).

Usos: Varias investigaciones han demostrado el potencial de esta especie para la biorremediación, habiéndose comprobado su eficacia en el tratamiento de aguas servidas, disminuyendo hasta un 80% la DQO (Aponte y Pacherres,2013).

### **Descripción de la especie acuática flotante: Lechuguín**

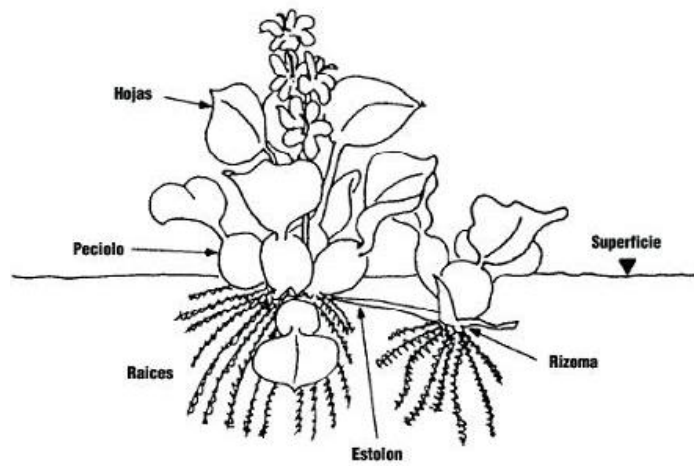
El Jacinto es una planta acuática perenne, vascular de flotación libre (Jaramillo y Flores, 2012). Se han distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos. Especie flotante de raíces sumergidas (Infojardín, 2013). El Jacinto de agua es una maleza acuática que flota libremente en la superficie del agua. Esta planta es nativa de Brasil y fue introducida a EU en 1884 como planta ornamental para jardines acuáticos (Robles y Madsen, s/f).

Clasificación taxonómica: La macrófita salvinia se encuentra dentro de la siguiente clasificación (Jaramillo y Flores, 2012):

- Reino: *Plantae*
- División: *Magnoliophyta*
- Clase: *Liliopsida*
- Orden: *Pontederiales*
- Familia: *Pontederiaceae*
- Género: *Eichornia*

Características morfológicas: Carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, 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, Las hojas son entre obovadas y redondeadas, están provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación. En verano produce espigas de flores lilas y azuladas. Las raíces son muy características, negras con las extremidades bancas cuando son jóvenes, negro violáceas cuando son adultas (Infojardín, 2013). El jacinto de agua crece formando rosetas que a su vez están conectadas por estolones (Robles y Madsen, s/f).

**Gráfico 5: Morfología de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)**



Fuente: EPA, 1988

Condiciones del Hábitat: Para que esta especie se desarrolle de manera favorable necesita de las siguientes condiciones (Jaramillo y Flores, 2012):

- Iluminación: Intensa o estar en semi sombra
- Temperatura: Para un crecimiento óptimo la temperatura debe estar entre 25° y 30°C, hay que protegerla de las heladas.
- pH: necesita un pH que se sitúe entre 6,5 y 7,5.
- Es una planta de flotación libre, habita en ríos, estanques, lagunas y presas, no resiste el medio salino (Ávila et al., 2000).

Reproducción: Puede duplicar su tamaño en diez días y durante 8 meses de normal crecimiento una sola planta es capaz de producir 70000 plantas hijas, que pueden llegar a medir entre 0,5 y 1,5 metros. Su reproducción es asexual y sexual. La reproducción del jacinto de agua ocurre principalmente de forma vegetativa por medio de la producción de estolones (Ávila et al., 2000). Su reproducción por semillas suelen ser una importante fuente de rebrote una vez que son eliminadas de las plantas adultas (Jaramillo y Flores, 2012).

Usos: Entre los principales usos tenemos (Ávila et al., 2000):

- El jacinto de agua es eficaz extrayendo nutrientes del agua y al multiplicarse absorbe los nutrientes sobrantes no deseados, y emite oxígeno que restaura la pureza del agua.
- El jacinto de agua se lo usa como un excelente indicador biológico cuando se seca (debido a la falta de fotosíntesis al no captar el oxígeno del agua cuando está demasiado contaminada) o presenta una coloración amarillenta por exceso de elementos como el Hidrógeno “Clorosis”.
- El jacinto de agua actúa como purificador de agua al absorber metales pesados como plomo, mercurio y cadmio.

#### **2.4.1.3 Especies acuáticas flotantes:**

Las especies acuáticas son aquellas que pueden crecer bajo el agua. Las plantas acuáticas son muy variables, desde algas unicelulares hasta organismos complejos en los que cada parte hojas, tallo, flores, etc., han evolucionado para realizar una función que contribuya a la supervivencia (GestAcuarios, s/f). Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres (Zarela, 2012).

Las plantas acuáticas flotantes son aquellas que crecen sobre la superficie del agua (sin sustrato) flotando. Se reproducen con mucha facilidad y en períodos muy cortos. Son sensibles al frío y a las heladas, por lo que en zonas de clima frío, se recomienda tenerlas en un invernadero con una excelente luz y en lo posible sol. Son especies que necesitan de pleno sol o media sombra ligera (PyJ, 2011).

Las plantas acuáticas flotantes se subdividen en (Núñez et al., 2004):

- 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*), Helecho acuático (*Azolla spp*), repollito de agua, pistia o lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), Trébol de agua (*Meyanthes trifoliata*).

- 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*).

**Tabla 1: Ejemplos de plantas acuáticas flotantes**

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Familia Botánica</b>
Azolla	<i>Azolla anabaena</i>	<u>Azollaceae</u> / <u>Salviniaceae</u>
Lechuguín	<i>Eichhornia crassipes</i>	<u>Pontederiaceae</u>
Salvinia	<i>Salvinia minima</i>	<u>Salviniaceae</u>
Lentejas de agua	<i>Lemna minor</i>	<u>Aráceae</u>
Pistia	<i>Pistia stratiotes</i>	<u>Araceae</u>
Trébol de agua	<i>Meyanthes trifoliata</i>	<u>Menyanthaceae</u>
Espinaca de agua	<i>Ipomoea aquatica</i>	<u>Convolvulaceae</u>
Mordisco de rana	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	<u>Hydrocharitaceae</u>
Pita acuática	<i>Stratiotes aloides</i>	<u>Hydrocharitaceae</u>

Elaborado por: Poveda, A. Fuente: Infojardín, 2013

#### **2.4.2 Marco Teórico de la Variable Dependiente:**

#### **2.4.2.1 Fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola:**

En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (Zarela, 2012).

Se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de aguas residuales, algas u otras sumergidas, con vistas a explorar su posible valor, las así denominadas macrófitas acuáticas flotantes, la lenteja de agua o Lemna (*Lemna spp*), azolla (*Azolla spp*) y Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) son del grupo de las plantas que con más intensidad se han estado evaluando en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural (Zarela, 2012).

Una de las características importantes para considerar una especie como biorremediadora es tener una alta tasa de crecimiento poblacional y una alta capacidad para extraer, acumular, transformar, degradar o volatilizar contaminantes (Mkandawire y Gert-Dudel, 2007).

##### **2.4.2.1.1 Agua:**

Es un líquido que está compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O) (Contreras et al., 2008). El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Es un recurso natural renovable. El agua es la única sustancia que existe de modo natural en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gas. (Torres, s/f). Puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se le

conoce frecuentemente como el disolvente universal y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes (Contreras et al., 2008).

Existen diferentes fuentes de agua y cada una de ellas requiere tratamientos diferentes para hacerla apta para el uso humano (Contreras et al., 2008).

- Aguas subterráneas: Son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo. Las aguas subterráneas no son tan susceptibles a la contaminación como las de la superficie, pero, una vez contaminadas, su restauración, si acaso es posible, es difícil y de largo plazo.
- Aguas superficiales: Las de ríos y lagos son fuentes importantes de abastecimiento de agua. Una de las desventajas de utilizar aguas superficiales es que están expuestas a la contaminación de todo tipo, pues, los contaminantes llegan a lagos y ríos desde fuentes diversas, como residuos industriales y municipales, erosión de suelos, drenaje de áreas urbanas y agrícolas.
- Aguas de mar: Está disponible en cantidad casi ilimitada, se puede transformar en agua dulce por diversos procesos. No obstante, los costos de conversión (sin contar los de eliminación del residuo de sal que se genera), son quizás de dos a cinco veces más altos que los del tratamiento del agua dulce.

#### **2.4.2.1.2 Contaminación del agua:**

Surge cuando los residuos producidos por los seres vivos (desde microorganismos hasta el hombre) sobrepasan la capacidad de utilización de éstos y, por lo tanto, provocan una alteración del equilibrio y se pone en riesgo la sobrevivencia de las especies. El ecosistema acuático es particularmente susceptible a sufrir polución o contaminación, derivadas de actividades humanas como: la agricultura, industria o urbanización descontrolada de ciertas zonas. Ya que esta contaminación tiene como destino final su acumulación en

ríos, océanos, lagos y/o lechos subterráneos, existen dos tipos de contaminación, los cuales son (Torres, s/f):

- **Contaminación Natural:** Es aquella en la que no interviene el ser humano, por ejemplo, los animales que van a morir a lechos de ríos se descompondrán y contaminarán el agua, lechos de ríos que circulan sobre minerales tóxicos necesariamente se irán contaminando, erupciones volcánicas, etc.
- **Contaminación Artificial:** Es la que proviene de alguna actividad del hombre.

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos (Echarry, 2007):

- 1. Microorganismos patógenos:** Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.
- 2. Desechos orgánicos:** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).
- 3. Sustancias químicas inorgánicas:** En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir

los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

- 4. Nutrientes vegetales inorgánicos:** Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas
- 5. Compuestos orgánicos:** Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
- 6. Sedimentos y materiales suspendidos:** Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales.
- 7. Sustancias radiactivas:** Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.
- 8. Contaminación térmica:** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

#### **2.4.2.1.3 Aguas residuales:**

Toda la comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos. La fracción líquida (agua residual) está constituida, esencialmente, por el agua de abastecimiento, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Desde el punto de vista de su origen, las aguas

residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores (Vázquez, 2003).

Las aguas residuales recogidas en comunidades o municipios deben ser conducidas a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. Se hace por tanto necesario conocer los contaminantes presentes en estas aguas con el fin de aplicar un tratamiento adecuado que evite la degradación y contaminación de los cauces (USAL, s/f).

**Tipos de Aguas residuales (Torres, s/f):**

- Aguas residuales urbanas: Son aquellas que arrojan por nuestros desagües.  
Contienen: restos de alimentos, detergentes, orinas, excremento, jabón, etc. Son altamente infecciosas, pueden producir enfermedades.
- Aguas residuales Industriales: Son aquellas derivadas de procesos industriales ya sea de fabricación o de lavado de materiales. Pueden contener gran variedad de elementos dependiendo del tipo de industria; solventes, grasas, metales, barros, colorantes, etc. Por lo tanto de peligrosidad variable.
- Aguas residuales agrícolas: tienen contaminantes provenientes de la utilización de productos químicos tales como: fertilizantes, pesticidas, herbicidas, insecticidas y residuos orgánicos. La mayoría productos de alta toxicidad.

Las aguas residuales industriales y de uso agrícola no deben sobrepasar las concentraciones máximas admitidas de las sustancias que se indican en las distintas normativas legales vigentes en el Ecuador como son TULAS, INEN, Ordenanzas Municipales, entre otras, descritas anteriormente en la Fundamentación Legal.

#### **2.4.2.2 Fitorremediación:**

La fitorremediación es una tecnologías emergente verde para la remediación de suelos, sedimentos, agua superficial y subterránea, que se basa en el uso de la vegetación como principal agente descontaminador para eliminar contaminantes peligrosas para el medio ambiente (Alkorta, 2000).

Podemos distinguir dos tipos diferentes de “fitorremediación”: “*in planta*” y “*ex planta*”, según se realice la degradación del contaminante dentro de la propia planta o fuera de ella. En el primer caso (*in planta*), la planta absorbe el contaminante y lo incluye dentro de ella, mientras que cuando es “*ex planta*”, dicha degradación se realiza en la zona de la rizósfera, debido a los exudados radicales (Hutchinson et al., 2001).

Entre las ventajas que se presentan en la fitorremediación tenemos (Mentaberry, 2010):

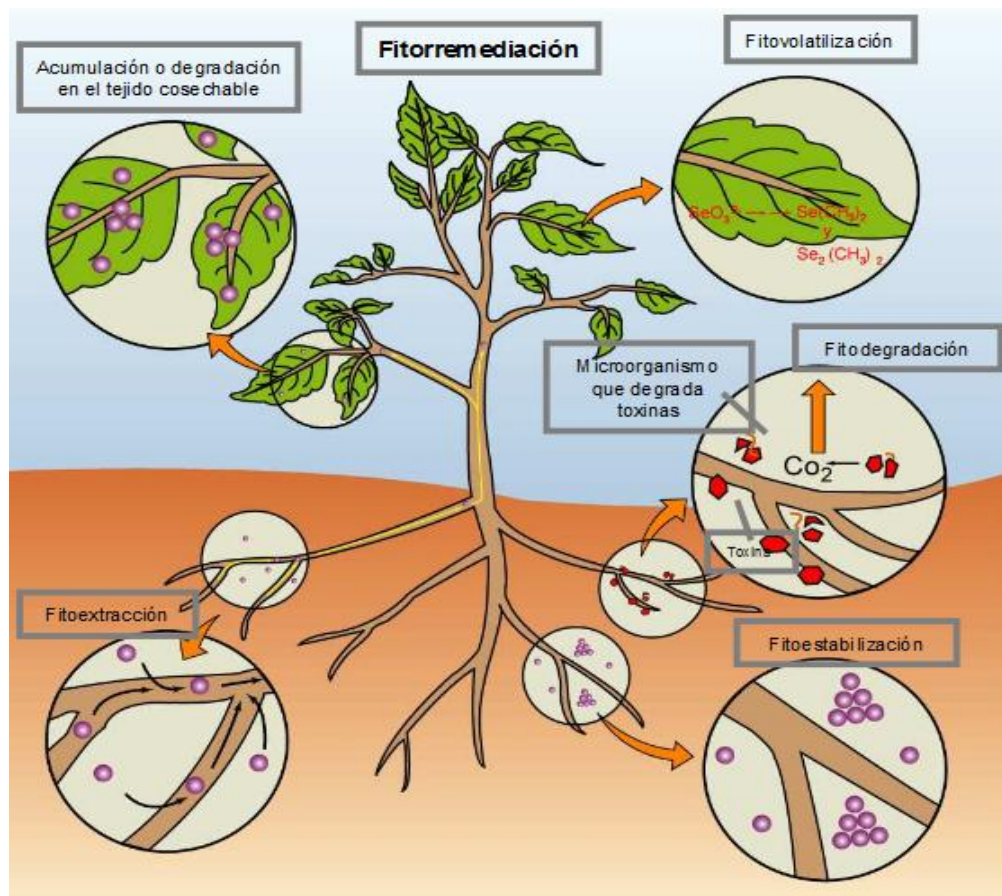
- Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas (costo 7-10 veces menor respecto de los métodos tradicionales).
- Las plantas emplean energía solar.
- Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- Es una metodología con buena aceptación pública.
- Se generan menos residuos secundarios.

Existen varios tipos de fitorremediación (Gráfico 6) que se describen a continuación (Mentaberry, 2010):

- Fitoextracción: Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea).
- Rizofiltración: Las raíces de las plantas se usan para adsorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados.

- Fitoestimulación: Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).
- Fitoestabilización: Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje al aire.
- Fitotransformación: Se divide en:
  - Fitodegradación: Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos.
  - Fitovolatilización: Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera mediante la transpiración.

**Gráfico 6: Tipos de fitorremediación**



Fuente: Buchanan et al., 2000



#### **2.4.2.3 Tratamiento Biológico de Aguas Residuales:**

Una alternativa al procesado del agua residual a través de plantas de tratamiento sería el tratamiento biológico en zonas pantanosas artificiales, que contienen plantas como juncos, cañas y nuez moscada. El agua es sometida a un tratamiento primario y posteriormente es conducida a una laguna donde tiene lugar el equivalente a los tratamientos secundario y terciario. La descontaminación del agua se lleva a cabo por la acción de bacterias y otros microorganismos presentes en las raíces de las plantas y rizomas. Estas plantas también absorben metales y aumentan el pH del agua, destruyendo así otros microorganismos nocivos (Mota, s/f).

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición (Ghosh y Singh, 2005).

Los microorganismos que habitan en la rizósfera juegan un papel importante en la degradación de la materia orgánica. Los metabolitos generados de esta degradación son absorbidos por las plantas junto con nitrógeno, fósforo y otros minerales (Garbisu et al., 2007).

#### **2.5 Hipótesis:**

##### Hipótesis Nula:

La evaluación de las especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas no será significativa.

##### Hipótesis Alternativa:

La evaluación de las especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas será significativa.

## **2.6 Señalamiento de variables:**

Variable Independiente: Evaluación de las especies acuáticas flotantes

Variable Dependiente: Fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad básica de la investigación:**

Las modalidades que se emplearán en esta investigación son:

La investigación experimental o de laboratorio y la investigación bibliográfica documentada puesto que para el desarrollo será necesario la experimentación en donde se tendrá variables como son las clases de aguas residuales (industriales y de uso agrícola) y también los diferentes tipos de plantas acuáticas flotantes usadas para la fitorremediación. Además de utilizar referencias de investigaciones ya realizadas anteriormente para comparar los datos finales y así obtener mejores resultados referentes al proceso de fitorremediación usando plantas acuáticas flotantes.

Investigación experimental o de laboratorio.- Es el estudio en que se manipula ciertas variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables dependientes, con el propósito de precisar la relación causa – efecto. Estos estudios son por lo general, considerados como los que mayor validez tienen en sus resultados.

Emplea un grupo experimental y uno de control para poder comparar los resultados. Realiza un control riguroso de las variables sometidas a experimentación por medio de procedimientos estadísticos. Provoca intencionalmente el fenómeno para observarlo con la ayuda de aparatos, equipos que permitan mayor rigor científico a los hallazgos (Abril, s/f).

Investigación bibliográfica–documental.- Tiene el propósito de conocer, comparar, ampliar, profundizar y deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en Elaboración de Proyectos, documentos (fuentes

primarias), o en libros, revistas, periódicos y otras publicaciones (fuentes secundarias) (Abril, s/f).

### **3.2 Nivel o tipo de investigación:**

En este estudio se utilizará la investigación aplicada puesto que este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Busca confrontar la teoría con la realidad (ITESCAM, s/f).

Además tenemos la investigación exploratoria: También conocida como estudio piloto, son aquellos que se investigan por primera vez o son estudios muy poco investigados. También se emplean para identificar una problemática.

Investigación experimental: es la que obtiene su información de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad, con el fin de hacer las comparaciones necesarias para comprobar las hipótesis o rechazarlas según el caso (Marín, 2008).

### **3.3 Población y muestra:**

#### Población:

La población general engloba a todas las plantas acuáticas que se encuentran en nuestro país. Las cuales se clasifican en tres grupos con base en sus formas de vida (Núñez et al., 2004):

- Emergentes como por ejemplo carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagitaria latifolia*) y tule (*Thypa dominguensis*).
- Flotantes como por ejemplo el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua y salvinia (*Lemna spp.* y *Salvinia minima*), Azolla o Helecho acuático (*Azolla spp.*), repollito del agua, pistia o lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), Trébol de agua (*Meyanthes trifoliata*).

- Sumergidas como por ejemplo bejuquillo (*Cerathophyllum demersum*), maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

Muestra:

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las plantas y el tipo de metal a remover, Por lo mismo para lograr buenos resultados las plantas a utilizar deben tener las siguientes características (Núñez et al., 2004):

- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales
- Ser acumuladoras de metales
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural
- Ser fácilmente cosechables

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado tenemos que las plantas acuáticas flotantes son las seleccionadas como muestra puesto que estas presentan algunas características importantes:

- Tienen la capacidad de doblar su biomasa en muy escasos días
- Son especies de fácil adquisición
- Sus rendimientos son considerables.
- Su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía, forraje, etc.

De las cuales tomando como referencias los estudios de investigación realizados con este tipo de plantas por algunas universidades del país se tomará las especies más comunes de nuestro país:

**Tabla 3: Plantas acuáticas flotantes existentes en el Ecuador (clima frío y subtropical)**

<b>Nombre Común</b>	<b>Otros nombre conocidos</b>	<b>Gráfico</b>
Azolla	Helecho mosquito, helecho de pato, helecho de agua	
Lechuguín	Jacinto de agua o Lirio acuático	
Salvinia	Oreja de agua, Oreja de elefante, Oreja de ratón, Acordeón, Helecho mariposa	
Lentejas de agua	Lenteja de agua	
Trébol de agua	Trébol de río.	

Elaborado por: Poveda, A. Fuente: Infojardín, 2013

### 3.4 Operacionalización de variables:

**Tabla 4: Operacionalización de Variables**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES (Unidades de medida)
Identificar la variación de las condiciones ambientales en las que se están desarrollando las distintas especies acuáticas flotantes para la determinación del porcentaje del rendimiento de biomasa.	<b>Variable independiente:</b> Variación de las condiciones ambientales  <b>Variable dependiente:</b> Rendimiento de biomasa de las distintas especies vegetales	Porcentaje de incremento de biomasa.	Gramos (g) o kilogramos (kg)  Parámetros físicos: pH, conductividad eléctrica (us/cm)
Determinar la eficiencia de la fitorremediación con las especies vegetales en las muestras de aguas seleccionadas.	<b>Variable independiente:</b> Especies vegetales  <b>Variable dependiente:</b> Eficacia de la fitorremediación	Porcentaje de eficiencia de la fitorremediación	<u>A. Fisicoquímico:</u> Turbidez (NTU), pH, c.e (us/cm), SD (mg/l), Dureza (mg/l), Cloruro (mg/l), DBO (mg/l), DQO (mg/l), Detergentes (mg/l), Grasas y aceites (mg/l) <u>A. Microbiológico</u> Coliformes fecales (UFC/100ml)
Seleccionar el mejor tratamiento de fitorremediación con el uso de plantas acuáticas flotantes desde el punto de vista de su viabilidad técnica y económica.	<b>Variable independiente:</b> Tratamiento  <b>Variable dependiente:</b> Viabilidad técnica y económica	Mejor tratamiento	Índice económico (costo) Índice técnico (disminución de los niveles de contaminación)

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

### **3.5 Plan de recolección de información:**

#### Obtención de las especies vegetales:

Previo a la aplicación de la metodología experimental, se realizó la obtención de las especies vegetales mencionadas en la TABLA 3 a ser utilizadas durante el proceso de investigación. Las cuales fueron sometidas a un proceso de selección (SCREENING) para escoger las dos especies vegetales que presenten mejores resultados.

La metodología de referencia para la presente investigación fue tomada del trabajo de tesis realizado por Jaramillo y Flores, (2012), con varias modificaciones de acuerdo a los requerimientos del tema de esta investigación.

Las plantas fueron trasladadas al lugar de experimentación en donde fueron colocadas en diferentes recipientes plásticos de PET (Tereftalato de polietileno) de 20 litros de capacidad y llenados con agua potable aproximadamente las dos terceras partes de su capacidad real, para que las muestras vegetales puedan crecer y desarrollarse de manera adecuada. En esta fase se tomaron datos del incremento de biomasa (g) de las especies vegetales de manera semanal durante 30 días, así como el pH y la conductividad eléctrica (c.e) cada dos días para determinar las condiciones del agua en las que se están desarrollando las especies. Una vez terminada la fase de adaptación y con una cantidad significativa de las plantas se procedió a la fase de pre- selección (SCREENING).

#### Recolección de las muestras de aguas residuales:

Para realizar la pre-selección se recolectó muestras de las diferentes aguas residuales en recipientes plásticos de una capacidad de 3 litros por muestra, la primera muestra fue proveniente de uno de los procesos industriales de la provincia de Tungurahua, Cantón Ambato como es (Tabla 5):



**Tabla 5: Tipo de agua residual industrial**

<b>Industria</b>	<b>Sector de toma de muestra</b>
Lavadora de Jeans	Totoras

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

El siguiente tipo de agua fue la proveniente del uso agrícola es decir fuentes de agua dulce como ríos, canales, vertientes, acequias que hayan pasado por lugares donde se use esta agua en actividades agrícolas como lavado del producto (alimentos), uso de agroquímicos, el uso pecuario, etc. En este caso tenemos el agua proveniente de la siguiente fuente de agua dulce:

**Tabla 6: Tipo de agua residual de uso agrícola**

<b>Agua</b>	<b>Sector de toma de muestra</b>
Río Pachanlica	Totoras

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

En esta fase las especies fueron colocadas en recipientes plásticos de PET (Tereftalato de polietileno) de 12 litros de capacidad para las especies grandes, y vasos plásticos para las especies pequeñas los cuales fueron llenados con las aguas residuales aproximadamente las dos terceras partes de su capacidad real y, se tomaron datos de la resistencia de dichas especies a las diferentes aguas contaminadas (cada 5 días) durante 6 semanas.

Además en esta fase fueron tomadas semanalmente fotografías de las diferentes estructuras (órganos) de las plantas para analizar como el o los contaminantes afectan a cada especie con el uso del microscopio y del estéreo microscopio. Los factores de estudio se detallan a continuación:

**Tabla 7: Factores de estudio**

<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>
<b>A. Plantas acuáticas</b>	Azolla
	Lechuguín
	Salvinia
	Lenteja de agua
	Trébol de agua
<b>B. Días de crecimiento</b>	0
	7
	14
	21
	28
	35
	42

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

Luego de la selección se procedió a repetir el proceso nuevamente pero a diferencia de la prueba anterior se tomaron datos del aumento o disminución de biomasa a la primera y 3 semana. El diseño experimental que se aplicó en esta parte de la investigación fue el de bloques completamente al azar con 2 réplicas.

Luego de la selección de las dos especies se procedió a la FASE DE EXPERIMENTACIÓN (caracterización de las aguas residuales y el proceso de fitorremediación).

Caracterización previa de las aguas residuales:

Al mismo tiempo que el proceso experimental también se realizó la caracterización previa de las aguas residuales que intervienen en la investigación. Para lo cual se recolectó una muestra de las aguas residuales

mencionadas anteriormente en envases de plástico transparente de 3,7 litros (un galón) de capacidad para su posterior análisis de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

**Tabla 8: Parámetros físico-químicos y microbiológicos**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>
Dureza	ppm
Cloruros	ppm
Alcalinidad	ppm
Color	Uni. Pt-Co
Conductividad eléctrica	us/cm
Nitratos	ppm
Nitritos	ppm
S. Totales	ppm
S. Disueltos	ppm
S. Suspendidos	ppm
Turbidez	NTU
pH	-----
DQO	ppm
DBO <sub>5</sub>	ppm
E. Coli Fecal	NMP/100 ml
Grasas y aceites	ppm
Detergentes	ppm

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

Cabe recalcar que según Fiallos (2011), cuanto menor sea el tiempo que transcurre la toma de muestras y su análisis, más fiables serán los resultados. Además menciona que antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlos dos o tres veces con el agua que se va a recoger, a menos que el

envase contenga algún tipo de conservante en cuyo caso la muestra se tomará directamente en el envase.

Proceso de Fitorremediación:

Las muestras de las aguas residuales se encuentran en los recipientes de 20 litros. En donde se colocaron las dos especies que presentaron mejores resultados y características como buena pigmentación y que sean plantas jóvenes.

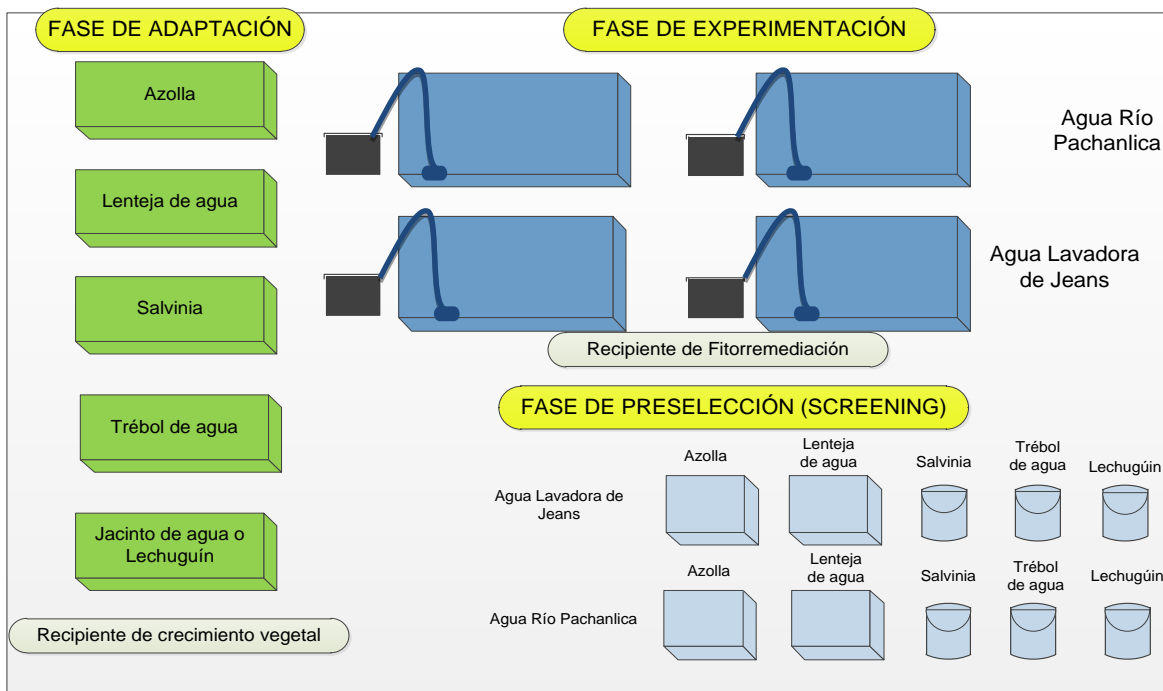
**Tabla 9: Factores para la fitorremediación**

<b>Agua Residual</b>	<b>Especie Vegetal</b>
Lavadora de Jeans	Primera
Lavadora de Jeans	Segunda
Río Pachanlica	Primera
Río Pachanlica	Segunda

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

Se tomaron datos cada 7 días durante 3 semanas de la caracterización de las aguas residuales durante y luego del proceso de fitorremediación, con la misma metodología y características que ya se mencionaron anteriormente en el proceso de caracterización previa.

**Gráfico 7: Esquema gráfico de la distribución del área del proyecto**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

### 3.6 Plan de procesamiento de la información:

Con los valores obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos antes y después del proceso de fitorremediación se procedió a la tabulación de los datos mediante la elaboración de un cuadro comparativo y gráficos de dispersión en el programa Excel con los datos obtenidos y en relación con los valores de los límites máximos permisibles para descarga de efluentes según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) y normas INEN.

Para el proceso de adaptación se elaboraron curvas de los parámetros medidos (pH, conductividad eléctrica) en los que se estaban desarrollando las especies vegetales y el cálculo del porcentaje de rendimiento de biomasa así como el de la producción de biomasa (gr) / días y mediante gráficas de barras se determinó la especie que presentaron mayor producción de biomasa.

Para el caso del proceso de pre-selección se elaboraron gráficas en relación al porcentaje de incidencia de cada muestra de agua en las diferentes especies vegetales con la utilización del programa EXCEL y también se utilizó el paquete informático Statgraphics plus con el 95% de confianza; para la determinación del mejor tratamiento se utilizó la prueba de TUKEY con los datos de la diferencia de biomasa (peso seco).

## **CAPÍTULO IV**

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

#### **4.1 Análisis de resultados:**

Las distintas especies vegetales fueron traídas de varias localidades del país con la característica principal de que sean de ambientes fríos y puedan soportar cambios climáticos.

Para el proceso de adaptación se tomó datos de las condiciones ambientales en las que se estaban desarrollando dichas especies como son las reportadas en la tabla A-1 y A-2 (Anexo A), además de la producción de biomasa cada 5 días para reportar los resultados de los gr/día y del rendimiento de biomasa (Anexo A, Tabla A-3), para determinar cuál de las especies tiene la característica de desarrollarse y reproducirse de una manera más acelerada que las demás. Dichos resultados se observan en los Gráficos C-3, C-4, C-5, C-6 y C-7 (Anexo C).

La evaluación de varias especies acuáticas para la fitorremediación se realizó en dos etapas. En la primera etapa se analizó la severidad de afectación producida por las distintas muestras de agua en las especies acuáticas flotantes, como resultado de la primera etapa tenemos el conteo semanal del número de hojas verdes durante 7 semanas, dichos resultados se reportan en la Tabla A-5 (Anexo A) para el caso de la muestra de agua de uso agrícola y en la Tabla A-6 (Anexo A) se presentan los resultados con la muestra de agua residual industrial. Además se usó como testigo el conteo de las hojas verdes de las distintas especies vegetales usando agua destilada Tabla A-4 (Anexo A) como medio en el que se desarrollan dichas plantas. En esta sección se determinó el porcentaje de incidencia de las distintas muestras de agua en las especies vegetales, resultados que están detallados en las Tablas B-2 y B-3 (Anexo B).

En la segunda fase del proceso de pre-selección se determinó el mejor tratamiento basándose en la diferencia del peso seco de las distintas especies al día 0 y al día 21 y utilizando el diseño por bloques detallado en el Anexo B (Tabla B-4 y B-5) se demostró que todas las especies estudiadas en esta investigación tienen características específicas, comprobando lo anteriormente mencionado con el resultado de la tabla ANOVA (Anexo B-Tabla B-5), es decir, que la mayor variación que se obtuvo en las desviaciones estándar correspondientes al factor especies acuáticas.

Para la determinación del mejor tratamiento se utilizó la prueba de TUKEY al 95% de confianza detallada en la Tabla B-6 (Anexo B) en donde se obtuvo como resultado final que la planta acuática flotante Lechuguín es la que corresponde al mejor tratamiento, corroborando los resultados tenemos la gráfica de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher mostrado en el Anexo C, Gráfico C-10. Además se realizó una segunda prueba de TUKEY con el objetivo de determinar la mejor especie en relación a las tres macrófitas acuáticas flotantes de menor tamaño, tal resultado se presenta en la tabla B-7 (Anexo B). Una vez que se obtuvieron los resultados de las dos especies que presentaron la mejor capacidad de adaptación en los diferentes tipos de agua, se procedió a la comprobación de su capacidad fitorremediadora (Proceso de fitorremediación).

Los factores en estudio en el proceso de Fitorremediación para la caracterización de las distintas aguas contaminadas fueron los parámetros detallados en la Tabla 8. Los resultados finales del proceso de fitorremediación en relación a los parámetros analizados están detallados en la Tabla A-9 (Anexo A) para el caso de agua residual industrial y en la Tabla A-11 (Anexo A) en el caso de la muestra de agua residual de uso agrícola. Además en el Anexo D se presenta los protocolos a seguir para la determinación de los diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos en aguas residuales.



Con dichos resultados se realizó la comparación en relación a las normas ambientales vigentes en nuestro país dados por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) y las normas INEN para el agua potable. Estas comparaciones se encuentran detalladas en el Anexo A en las Tablas A-10 y A-12. Se realizaron gráficas comparativas entre las dos especies utilizadas (Lechuguín y Lenteja de agua) en relación a cada parámetro, que se muestran en el Anexo C desde el Gráfico C-11 hasta el Gráfico C-24.

Para la tabulación de los resultados finales y la determinación de cuál es la especie que mejor proceso de fitorremediación (disminución de contaminantes) produjo, se realizó una calificación y valoración de cada parámetro analizado, detallado en el Anexo B en las tablas B-8, B-9 y B-10 y, gráficamente están demostrados los resultados finales en el anexo C en los gráficos C-25 y C-26. El resultado final señala que las especies que mejor acción fitorremediadora tienen para el caso de la muestra de agua industrial es el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), mientras que para el agua de uso agrícola las dos especies presentan resultados similares, es decir las dos pueden funcionar perfectamente como especies fitorremediadoras.

Finalmente en los Anexos F se encuentran las imágenes de toda la investigación como por ejemplo la fuente de origen de las distintas aguas residuales, así como los resultados de la fase de pre-selección, el proceso de fitorremediación y la parte correspondiente a los análisis de laboratorio realizados en el laboratorio de aguas residuales de la EM-EMAPA-A.

#### **4.2 Interpretación de datos:**

Las plantas acuáticas flotantes son una especie que puede ser usada comúnmente en procesos de fitorremediación bien sea con la utilización de humedales artificiales o de manera natural como en lagos, lagunas, pantanos.

Pero se debe tener presente que no todas las especies tienen la misma capacidad fitorremediadora o a su vez la capacidad de adaptación a distintos tipos de agua, por tal motivo es importante la evaluación de las mismas.

Con la caracterización previa de los diferentes tipos de aguas residuales se analizó las diferencias significativas entre ellas. Por ejemplo al hablar de un tipo de agua residual industrial y al específicamente el agua residual proveniente de una lavadora de jeans estaríamos frente a un caso de una contaminación química por todas las sustancias químicas (sosa cáustica, permanganato de potasio, enzimas, tintes, bisulfito, suavizantes, piedra pómez, etc.) que utilizan comúnmente en el proceso y esto se comprueba con los niveles altos de los parámetros químicos como la conductividad eléctrica y la Demanda Química de Oxígeno, mientras que al hablar de una agua residual de uso agrícola se debe tener en cuenta que es una contaminación tipo biológico, por tal razón, los niveles de microorganismos son altos, debido a que en ella existen restos de aguas residuales domésticas que son descargadas directamente en el río así como también los residuos de las empresas aledañas a esta fuente de agua dulce.

Antes del proceso de evaluación fue necesario analizar las condiciones normales en las que se desarrollaron las especies en nuestro medio debido a que no se puede comparar las condiciones ambientales en las diferentes zonas del país, por ejemplo parámetros como el pH y la conductividad eléctrica del agua no son lo mismo en la Región Costa y en la Región Sierra, y gracias a esto se puede establecer las condiciones en las que las plantas se pueden desarrollar y adaptar de una mejor manera.

Con la determinación del porcentaje de rendimiento de biomasa se logró determinar cuál es la especie que crece de manera favorable, puesto que según Núñez et al. (2004), entre las características que deben tener las plantas que pueden ser usadas para un proceso de fitorremediación están: que deben tener

una rápida tasa de crecimiento, tener una alta productividad, ser especies locales, representativas de la comunidad natural y tener la capacidad de doblar su biomasa en muy escasos días, entre otras.

Como resultado final se obtuvo que azolla es la planta acuática con mayor porcentaje de rendimiento de biomasa mientras que el Jacinto de agua fue la que menor crecimiento obtuvo, el resultado puede tener relación a la diferencia del tamaño entre las dos especies anteriormente mencionadas así como al ciclo de vida de cada especie, puesto que en el primer caso Azolla puede duplicar su biomasa en pocos días, según García (2011), azolla puede duplicar su biomasa en 3 días, es decir, tiene una reproducción más rápida, por su parte para que el Lechuguín llegue a su etapa reproductiva se necesita mayor cantidad de días debido al tamaño del mismo.

Luego del proceso de pre-selección se determinó en primer lugar que las especies actúan de manera independiente en relación al tipo de agua, debido a las características únicas y específicas que tienen cada una para desarrollarse y adaptarse a diferentes medios, por otra parte se debe descartar la idea de que las plantas solo tengan una manera lenta de morir, es decir, que no estén asimilando ningún tipo de contaminante sino que solo estén en un proceso de muerte lenta, para lo cual se realizó la determinación del peso seco de las distintas especies debido a que con este dato se puede comprobar si existe o no un incremento de biomasa en un lapso de tiempo y en que proporciones.

Con los datos anteriormente señalados se puede determinar cuál especie presentó el mejor tratamiento, pero se debe tener en cuenta que al trabajar con especies de tamaños diferenciados como es el caso de las plantas azolla y Jacinto de agua, la comparación entre los distintos tratamientos no es la más acertada, por tal motivo se realizó una comparación extra entre las 3 especies de menor tamaño para demostrar cual es la mejor especie, que en este caso tenemos como resultados finales que el Jacinto de agua y la lenteja de agua

son las dos especies que presentaron mejores resultados en el proceso de preselección, dichos resultados los corroboran otras investigaciones realizadas como por ejemplo la citada por Delgadillo et al. (2010), en donde estos autores mencionan que el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna spp.*) son las especies más utilizadas en sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes.

En el resultado del proceso de fitorremediación a escala de laboratorio tenemos que para el caso de aguas residuales industriales la especie que presentó mejores resultados fue el Jacinto de agua, es decir con el uso de esta especie se dio la remoción o disminución de 12 parámetros de un total de 15 analizados.

Al hacer una comparación con otros estudios se obtiene similares resultados, es decir, estudios experimentales con el jacinto de agua en plantas piloto de piscinas de tratamiento de aguas residuales arrojaron resultados favorables en la disminución de sulfatos, malos olores, y molestias causados por insectos mientras que en otros estudios en piscinas de degradación de aguas domésticas residuales utilizando jacinto de agua se obtuvo un 17% más de eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno que en piscinas de oxidación, estos tratamientos sólo se pudieron llevar a cabo en pequeñas zonas rurales (Ávila et al., 2000).

Por otra parte, en relación a la fitorremediación del agua residual de uso agrícola tenemos resultados similares entre las dos especies anteriormente mencionadas. Por tal motivo depende de la entidad o usuarios que tomen a cargo este proceso de fitorremediación para escoger cual tipo de planta usarían para la fitorremediación porque cada una de éstas posee características, ventajas y desventajas importantes para su utilización como por ejemplo los citados por Ávila et al. (2000), el jacinto de agua se lo usa como un excelente indicador biológico cuando se seca (debido a la falta de fotosíntesis al no captar

el oxígeno del agua cuando está demasiado contaminada) o presenta una coloración amarillenta por exceso de elementos como el Hidrógeno “Clorosis”. Además éste puede remover metales pesados, pero la eliminación segura de la planta llena de metal pesado presenta inconvenientes.

Mientras que por otra parte algunos autores han indicado que los metales, parecen ser absorbidos por las *Lemnaceae* vivas o muertas de manera activa por lo que es importante asegurar bajos niveles de metales en el agua que rodea el material extraído y almacenado a gran escala, así como una estricta vigilancia de los mismos en la planta antes de su uso como alimento de animales domésticos o como fertilizantes naturales (Ávila et al., 2007).

#### **4.3 Verificación de hipótesis:**

Después de todo el estudio realizado se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que dice: La evaluación de las especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas será significativa.

Para llegar a esta conclusión se analizó la tabla B-5 (Anexo B) en donde se obtuvo directamente en el programa *Statgraphics* que los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05 (Especies vegetales), este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Biomasa con un 95,0% de nivel de confianza.

Es decir que la evaluación de las especies acuáticas flotantes es importante para determinar cuál de las especies trabajadas son las que presentan mejor adaptabilidad y resistencia a los diferentes tipos de aguas residuales.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones:

- 5.1.1** Se identificó la variación de las condiciones ambientales en las que se están desarrollando las distintas especies acuáticas flotantes, como son el pH y la conductividad eléctrica del agua y el incremento de biomasa semanal para la determinación del porcentaje del rendimiento de biomasa dándonos como resultado que azolla es la especie que mayor rendimiento de biomasa presenta en los 30 días tiempo que duró la fase de adaptación.
- 5.1.2** Se determinó la eficiencia de la fitorremediación con las especies vegetales que fueron elegidas en el proceso de pre-selección las cuales fueron lenteja de agua (*Lemna spp.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) mediante los análisis realizados en el laboratorio de los parámetros físico químicos y microbiológicos antes, durante el proceso de fitorremediación, demostrando con esto que en el caso del agua residual industrial la especie que presentó mejores resultados fue el Jacinto de agua y en el caso del agua residual de uso agrícola tanto la lenteja de agua (*Lemna spp.*) como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) dieron resultados muy similares.
- 5.1.3** Luego del proceso de fitorremediación se seleccionó el mejor tratamiento desde el punto de vista de su viabilidad técnica y económica; esto está relacionado directamente a la especie que presentó mejores resultados en relación a la disminución de los parámetros físicos–químicos y microbiológicos así como en lo relacionado a viabilidad económica ( la especie que presentó menos costos en lo relacionado a su adaptación y mantenimiento), el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el caso de agua residual industrial y la lenteja mayor de agua (*Lemna spp.*) y el

Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el caso del agua residual de uso agrícola.

## **5.2 Recomendaciones:**

- 5.2.1** Después de conocer las condiciones ambientales de las distintas especies acuáticas se recomienda el estudio fitoquímico de las mismas para la determinación de la variación de sus principios activos durante todo su ciclo de vida (ciclo vegetativo y reproductivo)
- 5.2.2** De acuerdo a los resultados finales de la investigación realizada se recomienda adicionar un análisis específico de las especies acuáticas flotantes como potenciales bioacumuladores de metales pesados, es decir realizar los análisis de laboratorio para determinación de varios metales pesados y comprobar si existe o no una disminución de los mismos.
- 5.2.3** Ya establecido la especie con excelente capacidad fitorremediadora y que presenta mejores resultados se recomienda un estudio de como sería su correcta la eliminación puesto que como se conoce estos acumulan contaminantes en su interior, para evitar una posible contaminación ambiental. Si la eliminación no generaría daños al ambiente se recomendaría el estudio de la re utilización de las plantas luego del proceso de fitorremediación ya que bibliográficamente se conoce que especies como *Lemna spp.* tienen gran cantidad de proteína, y puede ser usado para la elaboración de abono u otros sub-productos

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA

#### 6.1 Datos informativos:

**Título:**

“Implementación de un sistema de fitorremediación de aguas residuales industriales (Lavadora de Jeans) y de uso agrícola (Río Pachanlica) con la utilización de dos especies acuáticas flotantes juntas: lenteja de agua (*Lemna spp.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)”

**Unidad ejecutora:**

Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica.

**Beneficiario:**

Microempresa Lavadora de Jeans ubicada en el sector Totoras  
Usuarios del Río Pachanlica

**Director del Proyecto:**

Ing. Ramiro Velasteguí, PhD

**Personal Operativo:**

Egda. Abigail Poveda

**Tiempo de duración:**

6 meses

**Lugar de Ejecución:**

Lavadora de Jeans ubicada en Totoras.  
Río Pachanlica



## **6.2 Antecedentes de la propuesta:**

Las alternativas de tratamiento biológico incorporan el uso de plantas superiores (macrófitas) como elemento de tratamiento de las aguas y proponen el aprovechamiento al máximo de las ventajas de las zonas tropicales tales como la amplia disponibilidad de luz solar, las altas temperaturas y las propiedades inherentes de las plantas del trópico, además de su gran variedad (CIMAD, s/f).

Existe un gran número de especies de plantas acuáticas, tanto flotantes como emergentes (e inclusive algunas especies sumergidas), que se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Aunque existen estudios para el tratamiento de efluentes con varias especies de plantas acuáticas, el Jacinto ha sido el más utilizado para este fin, debido a sus características. Se ha demostrado que la productividad del jacinto acuático está en función de la temperatura del aire, la disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno) y la densidad de la planta. Además, las plantas proveen sombra que impide el crecimiento de algas, permitiendo que las plantas actúen como filtro biológico clarificando y purificando el agua (CIMAD, s/f).

El estudio más completo de depuración con jacintos de agua, tanto sobre efluentes urbanos como industriales, ha sido llevado a cabo por el grupo de Wolverton en Mississippi, en la NASA, National Space Technology Laboratories. El objetivo inicial de estas investigaciones fue la búsqueda de un sistema que mejorase los lagunajes facultativos (muy utilizados en Estados Unidos en pequeñas comunidades), a fin de que los efluentes no superasen los límites contaminantes fijados por la ley federal de 1972 (Federal Water Pollution Control Act Amendments). Como resultados de estos trabajos, el jacinto de agua ha sido empleado con éxito en el tratamiento de aguas en el Sur y Sudoeste de los Estados Unidos (Martín, 1994).

En el caso específico de posible tratamiento de aguas negras algunos ejemplos ilustran el potencial de las plantas, con experimentos realizados por Tridech et al. (1981) citado por Fonseca y Villate (1983), en los que se compararon la remoción de cadmio, arsénico, mercurio, selenio, boro, fenoles y bifenilos policlorinados, nitrógeno y fósforo, por plantas que crecen en efluentes secundarios, usando plantas flotantes *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y *Pistia stratiotes*, plantas sumergidas *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Alternanthera philoxeroides* y las emergentes *Scirpus l.*, *Juncos*, *Sagittaria gramínea*.

En la Fábrica de Imusa S.A. localizada en el municipio de Río Negro (Antioquía), Colombia, se tienen operando desde 1988 unos canales sembrados con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua), se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados (García, 2012).

También García (2012), cita a algunos investigadores como por ejemplo Chará (1988), quien describe uno de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas porcinas. El sistema está constituido por un biodigestor, seguido de un canal de sedimentación, un canal con *Eichhornia Crassipes* y, por último, un canal con *Lemna Minor*. Otro investigador Pedraza (1997), reporta una disminución en la demanda bioquímica de oxígeno de 247 a 149 mg/l y una reducción en los sólidos suspendidos totales de 214 a 58 mg/l en una granja porcina en el Valle del Cauca utilizando este sistema de tratamiento.

### **6.3 Justificación:**

Las diversas actividades agrícolas, ganaderas, industriales y recreacionales del ser humano han traído como consecuencia la contaminación de las aguas superficiales con sustancias químicas y microbiológicas, además del deterioro de sus características estéticas. Para hacer frente a este problema, es

necesario someter al agua a una serie de operaciones o procesos unitarios, a fin de purificarla o potabilizarla para que pueda ser consumida por los seres humanos. Aunque algunos de los primeros intentos de tratar las aguas residuales involucró el uso de ecosistemas de pantanos y aún de bosques, paulatinamente la experiencia puso de manifiesto que las plantas acuáticas flotantes, con sus raíces especiales, son en realidad el mejor sistema de filtro biológico para extraer contaminantes que se encuentran en las aguas residuales (CIMAD, s/f).

La riqueza y variedad de conductas y de compuestos químicos secundarios que las plantas poseen, por ejemplo compuestos de nitrógeno, terpenoides, fenólicos y alcaloides, para afrontar factores tales como las diferencias de clima y de suelos, los contaminantes no naturales, los animales y la competencia de las otras plantas, dan a entender el gran potencial que éstas tienen como elemento integral de procesos de tratamiento de aguas y control de la contaminación. Además las raíces de las plantas proveen apreciable superficie de adherencia y una fuente de carbón orgánico para las bacterias denitrificadoras, contribuyendo así al proceso de remoción de nutriente indirectamente; en algunos casos translocan oxígeno de la atmósfera a las raíces (CIMAD, s/f).

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 y Álvarez, 2002)

## **6.4 Objetivos:**

### **6.4.1 Objetivo general:**

- Implementar un sistema de fitorremediación de aguas residuales industriales y de uso agrícola con la utilización de dos especies acuáticas flotantes: lenteja de agua (*Lemna spp.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

### **6.4.2 Objetivos Específicos:**

- Establecer los principales beneficios con la implementación del sistema de fitorremediación en el agua residual industrial y de uso agrícola.
- Determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación de este proyecto.
- Analizar la rentabilidad económica de la aplicación de este sistema de fitorremediación.

## **6.5 Análisis de factibilidad:**

El análisis de factibilidad de este proyecto es principalmente de carácter ambiental, tecnológico, económico y legal.

Es de carácter ambiental debido a que actualmente el Ministerio de Ambiente está controlando toda actividad o empresa que presente o genere algún tipo de contaminación y que no tenga el tratamiento del mismo antes de ser descargado o eliminado al ambiente, tomando en cuenta las normas ambientales vigentes en nuestro país como es el caso del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) y la norma INEN en relación a los requerimientos de agua potable debido a que en el caso del agua de uso agrícola esto no solo se utiliza para dicha actividad sino para el uso de las poblaciones aledañas al río.

En el caso de la empresa lavadora de jeans con la implementación de este sistema se estaría tratando y remediando el agua residual producto de su actividad que es descargada directamente a una fuente de agua dulce. Además, con este sistema se evitaría posibles multas o cierre de la empresa por parte del Ministerio al no poseer la licencia ambiental y no cumplir con las normas y leyes vigentes en el país como tenemos ya un ejemplo claro que mencionar, el sucedido con la Planta de Manufactura de Gelatina Prodegel S.A., la cual según El Ministerio del Ambiente (MAE), a través de la Dirección Provincial de Tungurahua, el pasado 27 de septiembre, suspendió temporalmente la Licencia Ambiental No. 059, perteneciente a la empresa Planta de Manufactura de Gelatina Prodegel S.A., ubicada en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua. El motivo de esta acción se basa en la no conformidad referente al mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, ésto en cumplimiento a la normativa ambiental vigente (MAE, 2013)

Además, se puede mencionar que la implementación de este sistema no es de mayor costo (Tabla 10) y no se requiere mucha tecnología debido a que la adaptación y mantenimiento del o de los estanques con las plantas acuáticas son fáciles de diseñar o adquirir y de manejo. El costo más grande que enfrentaría la empresa será el relacionado a los análisis de la calidad del agua, los cuales se los debe realizar en laboratorios acreditados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriana (OAE).

**Tabla 10: Costo de la instalación del sistema de fitorremediación**

<b>RECURSOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Humano</b>			
Mano de Obra para la instalación del sistema	1	20	20
<b>Materiales</b>			
Envase de 2000 L	1	253	253
Tubo 3"	2	6,5	13
Análisis Físicoquímicos y microbiológicos	12	200	2400
<b>Sub TOTAL</b>			2686
Imprevistos			134,3
<b>TOTAL</b>			<b>2820,3</b>

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

En el caso del agua para uso agrícola se conoce que todo río tiene algún tipo de contaminación tanto de las industrias aledañas que descargan directamente sus efluentes así como, de aguas residuales domésticas que en algunos casos pueden contener; pero es necesario que antes de proponer cualquier tipo de construcción, en este caso de humedales artificiales, se deben tomar en cuenta aspectos como un estudio detallado del río, puntos de contaminación, fuentes y focos de contaminación para poder determinar en donde se realizará la construcción de dichos humedales, tomando en cuenta además la topografía del suelo, los usuarios y beneficiarios del tratamiento del río, y las entidades

públicas o privadas a cargo de todo este proceso que en este caso sería El Ministerio del Ambiente conjuntamente con el Municipio.

Y como ya se mencionó anteriormente la construcción y adaptación de las plantas en este diseño es fácil y de un costo razonable como se detalla a continuación (Tabla 11):

**Tabla 11: Costo de la construcción e instalación del sistema de fitorremediación (humedales artificiales de 12m<sup>2</sup>)**

<b>RECURSOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Humano</b>			
Mano de Obra para la instalación del sistema	3	20	60
<b>Materiales</b>			
Arena (volqueta)	1	80	80
Cemento	10	7,5	75
Ladrillo	1000	0,1	100
Ripio (Volqueta)	1	80	80
Análisis Físicoquímicos y microbiológicos	12	200	2400
<b>Sub TOTAL</b>			2795
Imprevistos			139,75
<b>TOTAL</b>			<b>2934,75</b>

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

El costo de los materiales puede variar dependiendo del tamaño del humedal que se va a construir.

## **6.6 Fundamentación:**

### **Industria Textil**

La industria textil es una de las industrias más consumistas de agua ya que requieren un promedio de 80 litros de agua por prenda procesada, esto se ve reflejado en la gran generación de agua residual. El proceso de elaboración de productos textiles consiste de un gran número de operaciones unitarias que utilizan diversas materias primas, como algodón, lana, fibras sintéticas, o mezclas de ellas. El impacto ambiental de sus efluentes líquidos es muy variado, por la gran variedad de materias primas, reactivos y de métodos de producción. En los efluentes se pueden encontrar sales, almidón, peróxidos, EDTA, enzimas, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura, que provienen de las distintas etapas del proceso global (Santos, 1992).

En general, las corrientes de agua de descarga provienen principalmente del desengomado (15 %), des crude y mercerizado (20 %) y del blanqueo, teñido y lavado (65 %). El mayor aporte de la carga orgánica proviene de la etapa del desengomado que aporta alrededor de 50 % del total de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Los procesos de la industria textil no liberan grandes cantidades de metales; sin embargo, aun las pequeñas concentraciones involucradas pueden producir acumulación en los tejidos de animales acuáticos. Una gran proporción de los colorantes no son directamente tóxicos para los organismos vivos; sin embargo, la fuerte coloración que imparten a los medios de descarga puede llegar a suprimir los procesos fotosintéticos en los cursos de agua, por lo que su presencia debe ser controlada (Santos, 1992).



La Fitodepuración, en ese caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. Constituyen básicamente “fitosistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas (Delgadillo et al., 2010).

Los humedales artificiales son sistemas de Fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de una grava impermeabilizadora. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente. El tratamiento de aguas residuales para la depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evaluación al lugar de restitución. Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales (Delgadillo et al., 2010):

- Aguas domésticas y urbanas
- Aguas industriales, incluyendo fábrica de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos, entre otros.
- Aguas de drenaje de extracciones mineras
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana

Cuando el agua llega a una estación depuradora, pasa por una serie de tratamientos que extraen los contaminantes del agua y reducen su peligro para la salud pública. El número y tipo de tratamiento dependen de las características del agua contaminada y de su destino final. Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización. Reemplaza así el tratamiento secundario e inclusive, bajo

ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales (Delgadillo et al., 2010).

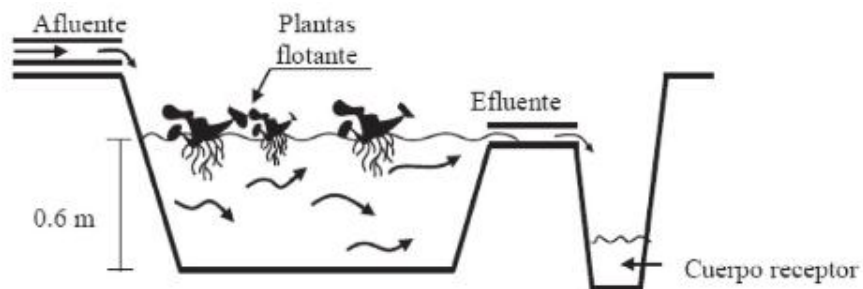
Los humedales son áreas que se caracterizan por tener un suelo saturado de agua y una comunidad viviente (plantas y animales) adaptados a la vida acuática o a un suelo saturado. El término humedal (*wetland*, en inglés) se usa para definir áreas que tienen tres componentes típicos (CIEMA, 2005):

- *Presencia de agua*: el área permanece inundada permanente o periódicamente con una profundidad menor de un metro.
- *Suelos característicos*: clasificados como hídricos.
- *Vegetación*: prevalecen las plantas macrófitas adaptadas a las condiciones hidrológicas y del suelo.

Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales: los de flujo superficial (*FWS–Free Water Surface*) y los de flujo subsuperficial (*SSF–Sub Surface Flow*).

Sistemas con macrófitas flotantes: formados por grandes lagunas con bajos niveles de agua y provistas de plantas macrófitas que flotan libremente en la superficie. Sus raíces sumergidas tienen un buen desarrollo.

**Gráfico 8: Esquema gráfico de un humedal de flujo superficial con macrófitas flotantes**



Fuente: CIEMA, 2005

## 6.7 Metodología

**Tabla 12: Etapas del proyecto de la implementación de un sistema de fitorremediación**

ETAPAS	METAS	ACTIVIDADES	RECURSOS	PRESUPUESTO	RESPONSABLE	TIEMPO
Elaboración de la propuesta	Implementación de un sistema de fitorremediación de aguas residuales con el uso de plantas acuáticas flotantes	Fundamentación bibliográfica de la factibilidad del proyecto	Materiales Humanos	100	Investigador	1 mes
Pruebas preliminares de la propuesta	Investigación de la calidad de agua y Determinación de los pasos directos para la implementación del sistema	Análisis de la calidad del agua. Pruebas de adaptación de las especies.	Materiales Económicos Humanos	500	Investigador Personal del laboratorio	1 mes
Implementación del sistema de fitorremediación	Ejecución de la construcción e implementación de los humedales.	Construcción de los humedales Instalación del sistema de fitorremediación	Materiales Económicos Humanos	200	Personal para construcción e instalación de los humedales Investigador	1 mes
Evaluación de la propuesta	Determinación de efecto (disminución de contaminantes) por la fitorremediación en el agua residual.	Análisis físico- químicos y microbiológicos del agua residual antes y después del proceso de fitorremediación	Económicos Humanos	1000	Investigador Personal del laboratorio	3 meses

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

### **6.8 Administración:**

La ejecución de la propuesta estará coordinada por:

Como responsables del proyecto Dr. Ramiro Velasteguí y Egda. Abigail Poveda.

Además de entidades públicas como Ministerio del Ambiente y Municipio (por las razones anteriormente mencionadas en la factibilidad del proyecto)

### **6.9 Previsión de la evaluación:**

Entre las actividades a cumplir tenemos:

Determinación de la condiciones iniciales de las muestras de aguas residuales (análisis de la calidad del agua) para la determinación de las condiciones en las que las plantas acuáticas flotantes están trabajando. Además determinación de la calidad del agua que sale luego del proceso de fitorremediación para determinar la efectividad del tratamiento.

## REFERENCIAS

### 1. Bibliografía

Abril, V .s/f. La metodología de la investigación: consultado en: <http://vhabril.wikispaces.com/file/view/7UTA.+Metodolog%C3%ADa+Investigaci%C3%B3n++Abril+PhD.pdf> (26/03/13)

Agencia de Protección Ambiental (EPA).2003. Principales plantas acuáticas. Consultado en: [http://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf) (22/05/13)

Agencia de Protección Ambiental (EPA). 1988. Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment US EPA. Disponible en: <http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf> (13/12/13)

Agudelo, L.; Macias, K.; Suárez, A. 2005.Fitorremediación como la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos, Consultado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520110> (20/03/13)

Alkorta, I.; Garbisu, C. 2000. Phytoremediation of organic contaminants in soils. Bioresource Technology 79, pg 273 – 276. Elsevier Science Ltd.

Aponte, H. ; Pacherres,C.2013. CRECIMIENTO Y PROPAGACIÓN DE LIMNOBIUM LAEVIGATUM (HYDROCHARITACEAE) BAJO DIFERENTES

CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES. Consultado en:  
[http://www.academia.edu/3844070/Crecimiento\\_y\\_propagacion\\_de\\_Limnobiolum\\_laevigatum\\_HYDROCHARITACEAE\\_bajo\\_diferentes\\_concentraciones\\_de\\_nutrientes\\_GROWTH\\_AND\\_PROPAGATION\\_OF\\_LIMNOBIUM\\_LAEVIGATUM\\_HYDROCHARITACEAE\\_UNDER\\_DIFFERENT\\_NUTRIENT\\_CONCENTRATIONS](http://www.academia.edu/3844070/Crecimiento_y_propagacion_de_Limnobiolum_laevigatum_HYDROCHARITACEAE_bajo_diferentes_concentraciones_de_nutrientes_GROWTH_AND_PROPAGATION_OF_LIMNOBIUM_LAEVIGATUM_HYDROCHARITACEAE_UNDER_DIFFERENT_NUTRIENT_CONCENTRATIONS) (14/11/13)

Arana, M. y BIANCO, C. 2011. *Helechos y Licofitas del centro de Argentina*. Editorial UNRC: Río Cuarto. Argentina. 84 pp.

Arroyave, M. 2004. LA LENTEJA DE AGUA (*Lemna minor* L.): UNA PLANTA ACUÁTICA PROMISORIA. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 1 p.33-38. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). Consultado en: <http://revista.eia.edu.co/articulos1/3.pdf> (12/12/2013)

Auxilia, M.; Dautant, R.; Windevoxhel, R. S/f. Fitorremediación de aguas residuales contentivas de cromo con especies de la familia *Cannaceae*. Consultado en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/reyna.pdf> (17/02/13)

Ávila, H.; Soto, A.; Torres, J.; Araujo, M.; Gutiérrez, E y Pirela, R. 2007. METALES PESADOS EN LA LENTEJA ACUÁTICA (*LEMNA SPP.*) DE LA ZONA COSTERA DEL LAGO DE MARACAIBO. Consultado en: <http://revistas.luz.edu.ve/index.php/bcib/article/viewFile/3321/3204> (12/12/13)

Ávila, J.; Castillo, Q.; Zárete, W. 2000. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola. Consultado en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/7216.pdf> (03/12/13)

Buchanan, B.; Gruissem, W.; Jones, R. 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Consultado en: [http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011\\_17%20Fitorremediacion.pdf](http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011_17%20Fitorremediacion.pdf) (15/05/2013)

Cabezas, J. 2011. RELACIÓN SIMBIÓTICA DE AZOLLA (*Azolla caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. mexicana*) – ANABAENA (*Anabaena azollae*) PARA LA PRODUCCIÓN DE NITRÓGENO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA DE CAYAMBE, 2010. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-CYT00047.pdf> (24/11/13)

Center for Aquatic and Invasive Plants. University of Florida, (IFAS). 2000. *Spirodela polyrhiza*. Consultado en: <http://plants.ifas.ufl.edu/node/435> (16/10/13)

Centro de Investigaciones en medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD). s/f. Sistemas de Tratamiento de Agua. Consultado en: [http://cedum.umanizales.edu.co/mds/modulo5/unidad3/pdf/Sistemas\\_tratamiento.pdf](http://cedum.umanizales.edu.co/mds/modulo5/unidad3/pdf/Sistemas_tratamiento.pdf) (03/01/14)

Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA). 2005. Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proyecto ASTEC SUCHER & HOLZER. Austria - Nicaragua. Managua, Nicaragua. 43 p.

Comisión Económica para América Latina (CEPAL). s/f. Manejo y Tratamiento de Agua Residual con Lenteja Acuática, Lechuguín y Totorá (Ecuador). Consultado en:  
[http://www.cepal.org/dds/innovacionsocial/e/proyectos/doc/Resumen.Manejo tratamientoaguas.Ecuador.esp.pdf](http://www.cepal.org/dds/innovacionsocial/e/proyectos/doc/Resumen.Manejo%20tratamientoaguas.Ecuador.esp.pdf) (28/02/13)

Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio). 2007. Las plantas limpiadoras: la fitorremediación. Consultado en:  
<http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades&note=427> (28/02/13)

Constitución del Ecuador. s/f. Consultado en:  
<http://www.utelvt.edu.ec/NuevaConstitucion.pdf> (16/03/13)

Contreras, K.; Contreras, J.; Corti, M.; De Sousa, J.; Durán, M.; Escalante, M. 2008. El agua un recurso para preservar. Consultado en:  
<http://www.eventos.ula.ve/ciudadesostenible/documentos/pdf/agua.pdf> (18/04/13)

Curt, M. s/f. Fitodepuración en humedales. Conceptos generales. Consultado en:  
[http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%205.pdf](http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%205.pdf) (20/12/13)



Department of Agriculture, Fisheries and Forestry (DAFF). 2013. Queensland Government. *Salvinia* (*Salvinia* spp.). consultado en: <http://www.daff.qld.gov.au/plants/weeds-pest-animals-ants/weeds/a-z-listing-of-weeds/photo-guide-to-weeds/salvinia> (22/12/13)

Delgadillo, A.; González, C.; Prieto, F.; Villagómez, J.; Acevedo, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Consultado en: [http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI\\_IntGenAmb/Otilio\\_Sando/1.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Otilio_Sando/1.pdf) (15/03/13)

Diario EL COMERCIO. 2012. 975 industrias gestionan la licencia ambiental en la Sierra Centro. Consultado en: [http://www.elcomercio.ec/pais/industrias-gestionan-ambiental-Sierra-Centro\\_0\\_739126210.html](http://www.elcomercio.ec/pais/industrias-gestionan-ambiental-Sierra-Centro_0_739126210.html) (03/04/13)

Echarri, L. 2007. Contaminación del Agua. Disponible en: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.unav.es%2Focw%2Fecologiaing0708%2FTema%25208%2520Contaminacion%2520del%2520agua%252007.pdf&ei=d2N1UavGDpOw8ASFqIGoBw&usq=AFQjCNG8Ti9qIFyeqeLL4oyFRT67mkxP2Q&bvm=bv.45512109,d.eWU> (18/04/13)

Ensbey, R. 2009. *Salvinia* (*Salvinia molesta*). Consultado en: <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/pests-weeds/weeds/profiles/salvinia> (13/12/13)

Fiallos, L. 2011. Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación "El Peral", EMAPA-Ambato. Consultado en: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/3086> (15/03/13)

Florpedia. 2008. Plantas acuáticas. Consultado en: <http://plantas.florpedia.com/-plantas-acuaticas.html> (15/03/13)

Fonseca, C.; Villate, J. 1983. El Uso de ecosistemas como tecnología apropiada de tratamiento de aguas. En: XXVI Congreso Nacional ACODAL. 57 p.

Garbisu, C.; Becerril, J.; Epelde, L.; Alkorta, I. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: Herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*. 16:44-49.

García, Z. 2012. COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRES PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. Disponible en: [http://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf) (20/05/13)

Gestión de Acuarios (GestAcuarios). s/f. Plantas acuáticas. Consultado en: <http://www.gestiondeacuarios.com/Biblioteca%20Web/Biblioteca/plantas/plantas.htm> (22/05/13)

Ghosh, M.; Singh, S. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. *Applied Ecology and Environmental Research*. 3:1-18.

Hutchinson, S.; Banks, M.; Schwab, A. 2001. Phytoremediación of aged petroleum sludge: Effect of inorganic fertilizers. *Journal Environmental Quality*, vol.30

Honduras Silvestre (HS).2013. Taxonomía de *Limnobium laevigatum*. Consultado en: <http://www.hondurassilvestre.com/search/taxa/taxa.aspx?tsn=515935> (13/12/13)

Infojardín. 2013. Tipos de plantas acuáticas. Consultado en: <http://articulos.infojardin.com/acuaticas/especies-plantas-acuaticas.htm#flotantes> (15/05/13)

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). 2006. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1 108:2006. Segunda Revisión, Quito, Ecuador. Consultado en: [http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=206&Itemid=62](http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=206&Itemid=62) (16/03/13)

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche, México (ITESCAM) .s/f. Tipos de Investigación. Consultado en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r92485.PDF> (23/03/13)

Jaramillo, M.; Flores, D. 2012. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales de la actividad minera. Consultado en: [dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf) (28/02/13)

León, A. 2013. Las 100 especies más invasoras: Salvinia molesta. Consultado en : <http://www.drosophila.es/blog/2013/07/29/las-100-especies-mas-invasoras-salvinia-molesta/> (08/09/13)

Lumelli, M. 2010. Fitorremediación. Alcances y aplicación en el agro ecosistema argentino. Consultado en: <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2371> (23/03/13)

Luna, L. 2011. Paradigma: Concepto, evolución y tipos. Consultado en: <http://teoriasconductistasdelaprendizaje.blogspot.com/2011/05/paradigmas-concepto-evolucion-tipos.html> (15/03/13)

Ly, J. s/f. Macrofitas acuáticas flotantes en sistemas integrados de producción animal. Consultado en: [http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii\\_encuentro/julio\\_ly.htm](http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/julio_ly.htm) (15/03/13)

Marín, A. 2008. Clasificación de la investigación. Consultado en: <http://metinvestigacion.wordpress.com/> (23/03/13)

Martín, I.; Fernandez, J.1992. Nutrient dynamics and growth of cattail crop (*Typha Latifolia L.*). developed in an effluent with high eutrophic potential-application to wastewater purification systems. *Biores. Tech.* (42): 7-12.

Mkandawire, M. y Gert-Dudel, E. 2007. Are *Lemna* spp. effective phytoremediation agents?

*Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 1: 56–71

Mayland, J. 1990. *Plantas de Acuario*. Editorial Daimon. Barcelona-España. Pág. 130

Mentaberry, A. 2010. Fitorremediación. Consultado en: [http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011\\_17%20Fitorremediacion.pdf](http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011_17%20Fitorremediacion.pdf) (09/04/13)

Montaño, M. 2010. Nitrógeno, Azolla, arroz, agricultura, salud, medio ambiente, economía, Ecosistema Guayas, conocimiento tropical: eslabones de la prosperidad del Ecuador. Consultado en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24192/1/Nitr%C3%B3geno,%20Azolla.pdf> (12/12/13)

Mota, A. s/f. Química de las aguas naturales. Consultado en: <http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema08.pdf> (25/02/14)

Núñez, R.; Meas, Y.; Ortega, R.; Olgúin, E. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Consultado en: [http://suel.wikispaces.com/file/view/Fitorremediacion\\_Fundam\\_Aplic.pdf](http://suel.wikispaces.com/file/view/Fitorremediacion_Fundam_Aplic.pdf) (28/02/13)

Olgúin, E.; Hernández, M.; Sánchez, G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. Consultado en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/21641> (16/03/13)

Ortega, G y Poveda, S. s/f. La calidad y el tratamiento a paso lento. Consultado en: <http://www.vistazo.com/ea/especiales/imprimir.php?Vistazo.com&id=5040> (28/02/13)

Padmavathiamma, P y Li, L. 2007. Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*. 184: 105-126.

Paredes, F y Torres, G. 2011. Recuperación de las riveras del Rio Ambato, Sector de Aguajan Molinos Ttilulum. Consultado en: <http://www.slideshare.net/GCTG/rio-ambato> (02/04/13)

Plantas y Jardín (PyJ). 2011. Plantas Acuáticas, Introducción & Descripción. Consultado en: <http://plantasyjardin.com/2011/01/plantas-acuaticas-introduccion-descripcion/> (07/04/13)

Pozo, C. 2012. Fitorremediación de las aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo. Salcedo–Cotopaxi. Consultado en: [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1939/MSc.%2024pdf?sequence= \(15/03/13\)](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1939/MSc.%2024pdf?sequence= (15/03/13)

Ramírez, R. s/f. Contaminación del Agua. Consultado en: <http://www.solociencia.com/ecologia/problematika-global-agua-autor.htm> (28/02/13)

Reichenauer, T y Germida, J. 2008. Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater. *ChemSusChem*. 1:708-717.

Reynolds, K. 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Consultado en: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf> (28/02/13)

Robles, W.; Madsen, J. s/f. Jacinto de agua [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms]. Consultado en: [http://atlas.eea.uprm.edu/sites/default/files/Jacinto%20de%20aguaEichhornia%20crassipes\\_0.pdf](http://atlas.eea.uprm.edu/sites/default/files/Jacinto%20de%20aguaEichhornia%20crassipes_0.pdf) (28/12/13)

Rodríguez, L.; Ortiz, Y.; Navarro, H.; Espinosa, H.; Hernández, V. 2006. Ensayos de eficiencia con macrófitas para la remoción de carga contaminante

en aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la Laguna de Fúquene [1]. Consultado en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/rt/printerFriendly/341/509> (05/03/14)

Roldán, G y Álvarez, L. 2002. Aplicación del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales y opciones de re uso de la biomasa producida. Revista Universidad Católica de Oriente. 15:56-71

Rook, E. 2004. Aquatic Plants of the North. *Spirodela polyrhiza*. Consultado en: <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/index.html> (14/11/13)

Sánchez, M. 2011. Tipos de Paradigmas. Consultado en: <http://es.scribd.com/doc/57041657/TIPOS-DE-PARADIGMAS> 16/03/13

Singh, O y Jain, R. 2003. Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. Applied and Microbiology Biotechnology. 63:128-135

Santos, C. 1992. Procesos en la Industria Textil de Perú, Lima-Perú, PP. 58-67

South East Regional Centre for Urban Landcare. (SERCUL). s/f. Amazon Frogbit. *Limnobium laevigatum*. Disponible en: <http://www.sercul.org.au/docs/Amazon%20Frogbit%20LR.pdf> (12/10/13)



Torres, J. 2012. Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía. Consultado en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/5721> (16/03/13)

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). s/f. Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1. Consultado en: <http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20Digital/TULAS.pdf/LIBRO%20VI%20Anexo%201.pdf> (16/03/13)

Universidad de Salamanca- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (USAL). s/f. Caracterización de Aguas Residuales. Consultado en: <http://cidta.usal.es/cidta/Análisis/residuales/residuales.htm> (09/04/13)

Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales (UNAL).s/f. *Salvinia auriculata* Aubl. – *Salviniaceae*. Consultado en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/?controlador=ShowObject&accion=show&id=98209> (09/12/13)

Varsavsky, A. s/f. Química Verde y prevención de la contaminación. Consultado en: <http://www.aqa.org.ar/iyq1.htm>. (28/02/13)

Vázquez, D. 2003. Estudio de Factibilidad para la Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la UDLA-P. Consultado en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/vazquez\\_r\\_d/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_r_d/) (07/04/13)

Velasteguí, J.R y Estudiantes Último Nivel Ing. Bioquímica. 2011. Levantamiento de información del sector de la acequia Albornoz – Naranjo (Pelileo, Tungurahua). Informe Final Semestre Marzo-Agosto 2011. Proyecto CEVIC-FCIAL-UTA. 40p + Anexos.

Velasteguí, J.R y Estudiantes Último Nivel Ing. Bioquímica. 2012. Evaluación de la calidad del agua de la acequia Albornoz-Naranjo, parroquias Salasaca, El Rosario y Chiquicha, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua. Informe Final Semestre Septiembre 2011-Febrero 2012. Proyecto CEVIC-FCIAL-UTA. 72p. + Anexos.

Velasteguí, J.R y Estudiantes Último Nivel Ing. Bioquímica. 2012. Calificación de la calidad del agua de la acequia Albornoz-Naranjo Evaluación de la calidad del agua de la acequia Albornoz-Naranjo (Pelileo, Tungurahua) e instalación de dispositivos ecológicos piloto para su descontaminación.

Viteri, M. 2013. Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la Planta de Tratamiento "El Peral" EP-Emapa Ambato. (Trabajo de investigación en fase de corrección).

Zarela, G. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima. Perú. 2p.

**ANEXOS**

# **Anexos A**

## ***TABLAS DE RESULTADOS***

**Tabla A-1: Variación de pH del agua en el que se desarrollan las distintas especies vegetales**

<b>Día</b>	<b>Especies Vegetales</b>				
	<b>Lechuguín</b>	<b>Trébol</b>	<b>salvinia</b>	<b>Azolla</b>	<b>Lenteja</b>
<b>0</b>	7,2	7,2	7,2	7,4	7,2
<b>2</b>	7,6	7,6	7,6	7,6	7,3
<b>4</b>	7,7	7,6	7,7	7,6	7,6
<b>6</b>	7,7	7,7	7,7	7,7	7,6
<b>8</b>	7,9	7,8	7,7	7,8	7,7
<b>10</b>	8,1	7,9	7,8	7,9	7,7
<b>12</b>	8,1	8,0	7,9	8,0	7,8
<b>14</b>	8,2	8,0	7,9	8,1	8,0
<b>16</b>	8,2	8,2	8,1	8,1	8,0
<b>18</b>	8,2	8,2	8,1	8,2	8,1
<b>20</b>	8,3	8,3	8,1	8,2	8,1
<b>22</b>	8,4	8,3	8,2	8,3	8,2
<b>24</b>	8,4	8,3	8,2	8,3	8,2
<b>26</b>	8,5	8,3	8,3	8,4	8,2
<b>28</b>	8,6	8,4	8,3	8,4	8,3
<b>30</b>	8,6	8,4	8,3	8,4	8,3

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-2: Variación de la conductividad eléctrica (us/cm) del agua en el que se desarrollan las distintas especies vegetales**

Día	Especies Vegetales				
	Lechuguín	Trébol	salvinia	Azolla	Lenteja
0	137	136	138	139	139
2	138	138	137	139	138
4	139	138	138	139	139
6	139	139	139	140	139
8	140	142	139	140	139
10	141	142	139	140	141
12	143	143	144	140	141
14	144	144	144	141	141
16	146	144	144	141	141
18	147	146	147	143	141
20	153	148	148	145	142
22	153	153	150	145	143
24	154	157	150	146	143
26	158	160	153	147	145
28	162	161	159	150	146
30	170	166	165	158	147

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-3: Producción de biomasa (g) de las distintas especies vegetales**

Días	Lechuguín		Trébol		Salvinia		Azolla		Lenteja	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
<b>0</b>	40	40	4	4	10	10	10	10	10	10
<b>5</b>	40	40	4	4	10	10	12	12	10	10
<b>10</b>	42	40	5	4	12	12	15	14	12	12
<b>15</b>	47	45	6	6	12	13	18	16	15	15
<b>20</b>	50	49	6	6	13	14	20	19	19	19
<b>25</b>	54	54	7	7	15	14	22	23	21	21
<b>30</b>	60	59	8	7	15	15	25	26	24	22

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Proceso de Pre-selección**

**Tabla A-4: Datos obtenidos del número de hojas verdes de las distintas especies vegetales en el agua usada como testigo: Agua destilada**

Días	Especies vegetales														
	Azolla			Lenteja			Salvinia			Trébol			Lechuguín		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>0</b>	10	10	11	11	10	13	15	13	16	6	5	3	5	5	5
<b>7</b>	10	10	11	11	10	13	15	13	16	6	5	3	5	5	5
<b>14</b>	13	13	12	12	11	15	15	14	18	7	7	4	6	6	6
<b>21</b>	16	17	16	12	11	16	17	14	19	7	7	5	6	6	6
<b>28</b>	19	20	19	14	12	18	17	15	20	8	8	5	7	9	8
<b>35</b>	24	26	21	16	13	18	20	15	20	9	10	6	7	9	8
<b>42</b>	27	25	26	16	14	21	20	15	21	10	10	7	9	10	9

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-5: Datos obtenidos del número de hojas verdes de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual de uso agrícola: Agua del Río Pachanlica**

Días	Especies vegetales														
	Azolla			Lenteja			Salvinia			Trébol			Lechuguín		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>0</b>	10	9	10	16	19	14	12	12	9	3	3	4	7	5	6
<b>7</b>	10	9	10	16	19	14	12	12	9	3	3	4	7	5	6
<b>14</b>	10	9	10	13	17	12	10	11	7	2	2	3	6	4	5
<b>21</b>	10	9	10	11	16	10	9	10	6	2	1	3	2	1	3
<b>28</b>	10	9	10	10	15	9	8	8	5	1	1	1	5	3	5
<b>35</b>	10	9	10	7	13	9	7	6	3	0	1	1	5	2	4
<b>42</b>	10	9	10	5	10	8	5	3	2	0	0	1	4	2	4

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013



**Tabla A-6: Datos obtenidos del número de hojas verdes de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual industrial: Agua del lavado de jeans**

Días	Especies vegetales														
	Azolla			Lenteja			Salvinia			Trébol			Lechuguín		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>0</b>	10	10	10	11	11	14	8	6	15	3	3	5	5	5	8
<b>7</b>	10	10	10	11	11	14	8	6	15	3	3	5	5	5	8
<b>14</b>	7	6	8	11	10	13	7	5	10	2	2	4	4	4	6
<b>21</b>	3	2	3	10	9	13	6	4	7	2	1	4	4	4	5
<b>28</b>	1	1	0	10	7	11	5	3	5	0	1	2	3	3	4
<b>35</b>	0	0	0	7	5	8	2	0	0	0	0	0	3	2	4
<b>42</b>	0	0	0	5	4	8	0	0	0	0	0	0	2	2	4

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-7: Datos obtenidos del peso seco y húmedo de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica)**

Especie	P. fresco (gr)	Día 1		Día 21	
		R1	R2	R1	R2
Azolla	1	0,04	0,05	0,07	0,07
Lenteja	1	0,04	0,03	0,10	0,10
Salvinia	1	0,07	0,09	0,12	0,10
Trébol	15	0,75	0,90	0,75	1,05
Lechuguín	15	2,60	2,75	3,25	3,45

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-8: Datos obtenidos del peso seco y húmedo de las distintas especies vegetales en la muestra de agua residual industrial (lavadora de jeans)**

Especie	P. fresco (gr)	Día 1		Día 21	
		R1	R2	R1	R2
Azolla	1	0,03	0,03	0,05	0,03
Lenteja	1	0,04	0,06	0,08	0,12
Salvinia	1	0,08	0,09	0,10	0,09
Trébol	15	0,75	0,60	0,90	0,60
Lechuguín	15	2,50	2,65	3,05	2,95

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-9: Resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológico de la muestra de agua residual industrial (Lavadora de Jeans) tomados durante el proceso de fitorremediación**

Parámetro	Unid.	Caract.	Semana 1		Semana 2		Semana 3	
		Previa	Lechuguín	Lenteja	Lechuguín	Lenteja	Lechuguín	Lenteja
Dureza	ppm	208	340	404	230	278	100	190
Cloruros	ppm	1120	148,8	155,5	87,4	95,5	45,5	45,8
Alcalinidad	ppm	596,8	300	446	234	312,8	219,4	227,4
Conductividad eléctrica	us/cm	2796	3930	3153	2380	2710	1775	2013
Nitratos	ppm	28,88	14	17	10,5	12,5	2	10,1
Nitritos	ppm	3,41	10	10	5	10	1	10
S. Totales	ppm	1624	3130	2472	1010	1200	1030	1180
S. Disueltos	ppm	1232	3052	2384	992	1180	976	1166
S. Suspendidos	ppm	392	78	88	18	20	54	14
Turbidez	NTU	25	13	20,5	3,25	4,6	0,46	1,62
pH	----	8,57	8,13	8,04	7,51	7,6	7	7,2
DQO	ppm	700	424	299	380	114	45	44
DBO5	ppm	42	20	36	2	2,4	0	0,2
E. Coli Fecal	NMP/ 100 ml	1000	500	400	300	200	0	0

Elaborado por: Poveda, A. 2013 - Fuente: Laboratorio de Aguas residuales de EM-EMAPA-A

**Tabla A-10: Comparación de los resultados finales del agua de Jeans con los límites máximos permisibles dados por el *Texto Unificado* de la Legislación Ambiental Secundaria**

Parámetro	Unidad	Característica Previa	Result. Final		TULAS. Desc. Efluente	
			Lechuguín	Lenteja	1	2
Cloruros	Ppm	1120	45,5	45,8	1000	
<b>Nitratos</b>	<b>Ppm</b>	<b>28,88</b>	<b>2</b>	<b>10,1</b>	<b>10*</b>	
<b>Nitritos</b>	<b>Ppm</b>	<b>3,41</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>10*</b>	
S. Totales	Ppm	1624	1030	1180	1600	1600
S.Sedimentable	Ppm	0	0	0	1	20
S. Suspendidos	Ppm	---	54	14	100	220
pH		8,13	7	7,2	5-9	5-9
DQO	Ppm	700	45	44	250	500
DBO5	Ppm	43	0	0,2	100	250
E. Coli Fecal	NMP/ 100 ml	1000	0	0	Remoción > al 99.9%	
Grasas y aceites	Ppm	0,000	0	0	0,3	100
Detergentes	Ppm	1,008	0	0	0,5	2

**\*Nitratos y nitritos**

Elaborado por: Poveda, A. 2013 - Fuente: Límites máximos permisibles del TULAS

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Libro VI.  
Anexo 1.NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE  
EFLUENTES: RECURSO AGUA.

**1:** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

**2:** Límites de descarga al sistema de alcantarillado

**Tabla A-11: Resultados de los parámetros físico-químicos de la muestra de agua residual de uso agrícola tomados durante el proceso de fitorremediación**

Parámetro	Unidad	Caract.	Semana 1		Semana 2		Semana 3	
			Previa	Lechuguín	Lenteja	Lechuguín	Lenteja	Lechuguín
Dureza	ppm	110	120	116	100	60	<b>77,6</b>	51,2
Cloruros	ppm	110	81	90,5	60,8	61,9	13,1	12,7
Alcalinidad	ppm	384	357	284	288,8	112,8	64,8	42,6
Conductividad	us/cm	1240	1012	924	802	671	627	632
Nitratos	ppm	20,64	16	16	11,5	4,5	1,3	1,8
Nitritos	ppm	10	10	10	5	5	1	1
S. Totales	ppm	394	546	364	488	412	510	394
S. Disueltos	ppm	394	364	356	474	362	452	356
S. Suspendidos	ppm	---	182	8	14	50	58	38
Turbidez	NTU	7,7	5	6,3	1,95	1,2	0,73	0,48
pH	----	8,45	8,19	8,21	<b>7,93</b>	7,81	7,31	7,41
DQO	ppm	38	24	25	13	18	8	16
DBO5	ppm	33	20	15	3,4	0	0,6	0
E. Coli Fecal	NMP/ 100 ml	11000	6000	8000	4000	5000	2000	3000

Elaborado por: Poveda, A. 2013 - Fuente: Laboratorio de Aguas residuales de EM-EMAPA-A

**Tabla A-12: Comparación de los resultados finales del agua del Río con los límites máximos permisibles dados por el TULAS y las normas INEN para agua potable.**

Parámetro	Unid.	Caract. Previa	Result. Final		TULAS			INEN
			Lechuguín	Lenteja	1	2	3	A.Potable
Dureza	ppm	110	<b>77,6</b>	51,2				
Color	Uni. Pt-Co	7,5	5	5				15
Nitratos	ppm	20,64	1,3	1,8		10*		50
<b>Nitritos</b>	<b>ppm</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0,2</b>
S. Disueltos	ppm	394	452	356	3000	3000		
pH		7,81	7,31	7,41	6-9	6-9	6,5-8,5	
<b>E. Coli Fecal</b>	<b>NMP/ 100 ml</b>	<b>11000</b>	<b>2000</b>	<b>3000</b>		<b>&lt; 1000</b>	<b>200</b>	<b>&lt;1,1</b>
Grasas y aceites	ppm	0,0406	0	0	0,3		0,3	
Detergentes	ppm	0,023	0	0			0,5	

**\*Nitratos y nitritos**

Elaborado por: Poveda, A. 2013 - Fuente: Límites máximos permisibles del TULAS y norma INEN

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Libro VI. Anexo 1.NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.

- **1:** Criterios de calidad de aguas de uso agrícola
- **2:** Criterios de calidad para aguas de uso pecuario
- **3:** Criterios de calidad para aguas con fines recreativos

Instituto Nacional de Estandarización y Normalización (INEN). Norma NTE INEN 1108 del 2006. AGUA POTABLE. REQUISITOS.

**Tabla A-13. Costo de las distintas especies vegetales usadas en la investigación**

<b>Vegetal</b>	<b>Cantidad (fundas)</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Azolla	1	5	5
Lenteja de agua	1	5	5
Salvinia	2	3	6
Trébol de agua	1	5	5
Lechuguín	20 plantas	0	0

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla A-14. Estudio Económico para la determinación del mejor tratamiento (Fitorremediación a escala de laboratorio).**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Recipiente plástico de 20 lt	2	15	30
Aireadores para pecera	2	12	24
Recipientes para toma de muestras	4	1	4
Disipadores para los aireadores	2	1	2
Reactivos para el análisis de laboratorio	1	300	300
<b>SUBTOTAL</b>			<b>360</b>
<b>Imprevistos 5%</b>			<b>18</b>
<b>TOTAL</b>			<b>378</b>

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013



# **Anexos B**

## *CÁLCULOS ESTADÍSTICOS*

**Cálculo del rendimiento de las distintas especies vegetales (Ejemplo Lechuguín):**

$$\% = \frac{\text{Peso final}(gr)}{\text{Peso inicial}(gr)} * 100$$

$$\% = \frac{59,5 gr}{40 gr} * 100$$

$$\% = 148,75$$

**Tabla B-1: Producción de biomasa (g/día) y rendimiento (%) de las distintas especies vegetales**

<b>Especie</b>	<b>Biomasa(gr)/día</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>Lechuguín</b>	0,65	148,8
<b>Trébol</b>	0,11	187,5
<b>Salvinia</b>	0,16	150
<b>Azolla</b>	0,51	255
<b>Lenteja</b>	0,43	230

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Determinación del porcentaje de incidencia del agua contaminada en las distintas especies vegetales (Ejemplo azolla):**

$$\% \text{ de Incidencia} = \frac{\text{Número de plantas u órganos afectados}}{\text{Número total de hojas analizadas}} * 100$$

$$\% \text{ de Incidencia} = \frac{0}{10} * 100$$

$$\% \text{ de Incidencia} = 0$$

**Tabla B-2: Porcentaje de incidencia del agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica) en las hojas de las distintas especies vegetales**

<b>Días</b>	<b>Azolla</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Salvinia</b>	<b>Trébol</b>	<b>Lechuguín</b>
<b>7</b>	0,00	0,00	0,00	0	0,00
<b>14</b>	20,68	14,28	15,15	30	16,66
<b>21</b>	44,82	24,48	24,24	40	16,66
<b>28</b>	82,75	30,61	36,36	70	27,77
<b>35</b>	100	40,81	51,51	80	38,88
<b>42</b>	100	53,06	69,69	90	44,44

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla B-3: Porcentaje de incidencia del agua residual industrial (Lavadora de Jeans) en las hojas de las distintas especies vegetales**

<b>Días</b>	<b>Azolla</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Salvinia</b>	<b>Trébol</b>	<b>Lechuguín</b>
<b>7</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>14</b>	30,00	5,56	24,14	27,27	22,22
<b>21</b>	73,33	11,11	41,38	36,36	27,78
<b>28</b>	93,33	22,22	55,17	72,73	44,44
<b>35</b>	100,00	44,44	93,10	100,00	50,00
<b>42</b>	100,00	52,78	100,00	100,00	55,56

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla B-4: Datos de la diferencia de biomasa (Peso seco) de las distintas especies vegetales en las diferentes muestra de aguas residuales usados para el diseño experimental**

Tipo de agua	Especies vegetales				
	Azolla	Lenteja	Salvinia	Trébol	Lechuguín
Río Pachanlica	0,03	0,07	0,03	0,07	0,67
Lavadora de Jeans	0,01	0,05	0,01	0,07	0,42

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla B-5: Análisis de Varianza para Biomasa - Suma de Cuadrados Tipo III con los datos de la diferencia de biomasa (peso seco)**

Variable dependiente: Biomasa

Factores:

Especie vegetal

Muestra de agua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:especie vegetal	0,42156	4	0,10539	18,96	0,0073
B:muestra de agua	0,00961	1	0,00961	1,73	0,2589
RESIDUOS	0,02224	4	0,00556		
TOTAL (CORREGIDO)	0,45341	9			

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla B-6: Prueba de Tukey para la determinación del mejor tratamiento con el uso de las 5 especies).**

<b>Especie</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Salvinia	2	0,02	<b>A</b>
Azolla	2	0,02	<b>A</b>
Lenteja	2	0,06	<b>A</b>
Trébol de agua	2	0,07	<b>A</b>
Lechuguín	2	0,55	<b>B</b>

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla B-7: Prueba de Tukey para determinación del mejor tratamiento de las tres macrófitas de menor tamaño.**

<b>Especie</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Azolla	2	0,017	<b>A</b>
Salvinia	2	0,020	<b>A</b>
Lenteja	2	0,057	<b>B</b>

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Valoración y puntuación para la determinación del mejor tratamiento**

1= Mayor reducción del contaminante

0= menor reducción del contaminante

**Tabla B-8: Valoración de las dos especies vegetales en relación a los parámetros evaluados durante el proceso de fitorremediación para determinar el mejor tratamiento en la muestra de agua residual industrial (Lavadora de Jeans)**

Parámetro	Caract. Previa	Resultados finales		Valoración	
		Lechuguín	Lenteja	Lechuguín	Lenteja
Dureza	208	100	190	1	0
Cloruros	1120	45,5	45,8	1	0
Alcalinidad	596,8	219,4	227,4	1	0
Conductividad	2796	1775	2013	1	0
Nitratos	28,88	2	10,1	1	0
Nitritos	3,41	1	10	1	0
S. Totales	1624	1030	1180	1	0
S. Disueltos	1232	976	1166	1	0
S. Suspendidos	392	54	14	0	1
Turbidez	25	0,46	1,62	1	0
pH	8,57	7	7,2	1	0
DQO	700	45	44	0	1
DBO5	42	0	0,2	1	0
E. Coli Fecal	1000	0	0	1	1
<b>TOTAL</b>				<b>12</b>	<b>3</b>

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Tabla B-9: Valoración de las dos especies vegetales en relación a los parámetros evaluados durante el proceso de fitorremediación para determinar el mejor tratamiento en la muestra de agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica)**

Parámetro	Caract. Previa	Resultados finales		Valoración	
		Lechuguín	Lenteja	Lechuguín	Lenteja
Dureza	110	77,6	51,2	1	0
Cloruros	110	13,1	12,7	0	1
Alcalinidad	384	64,8	42,6	0	1
Conductividad	1240	627	632	1	0
Nitratos	20,64	1,3	1,8	1	0
Nitritos	10	1	1	1	1
S. Totales	394	510	394	0	1
S. Disueltos	394	452	356	0	1
S. Suspendidos	---	58	38	0	1
Turbidez	7,7	0,73	0,48	0	1
pH	8,45	7,31	7,41	1	0
DQO	38	8	16	1	0
DBO5	33	0,6	0	0	1
E. Coli Fecal	11000	2000	3000	1	0
			<b>TOTAL</b>	7	8

Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Calificación de la especie que presenta mejores resultados:**

100% Mayor remoción de los contaminantes

50% Remoción parcial de los contaminantes

< 50% Menor remoción de los contaminantes

**Tabla B-10: Tabla final para la determinación del mejor tratamiento desde el punto de vista técnico.**

<b>Muestra de agua</b>	<b>Especie</b>	<b>Puntaje final</b>	<b>Porcentaje</b>
Industrial	Lechuguín	12	80%
	Lenteja	3	20%
De uso agrícola	Lenteja	7	46,7%
	Lechuguín	8	53,3 %

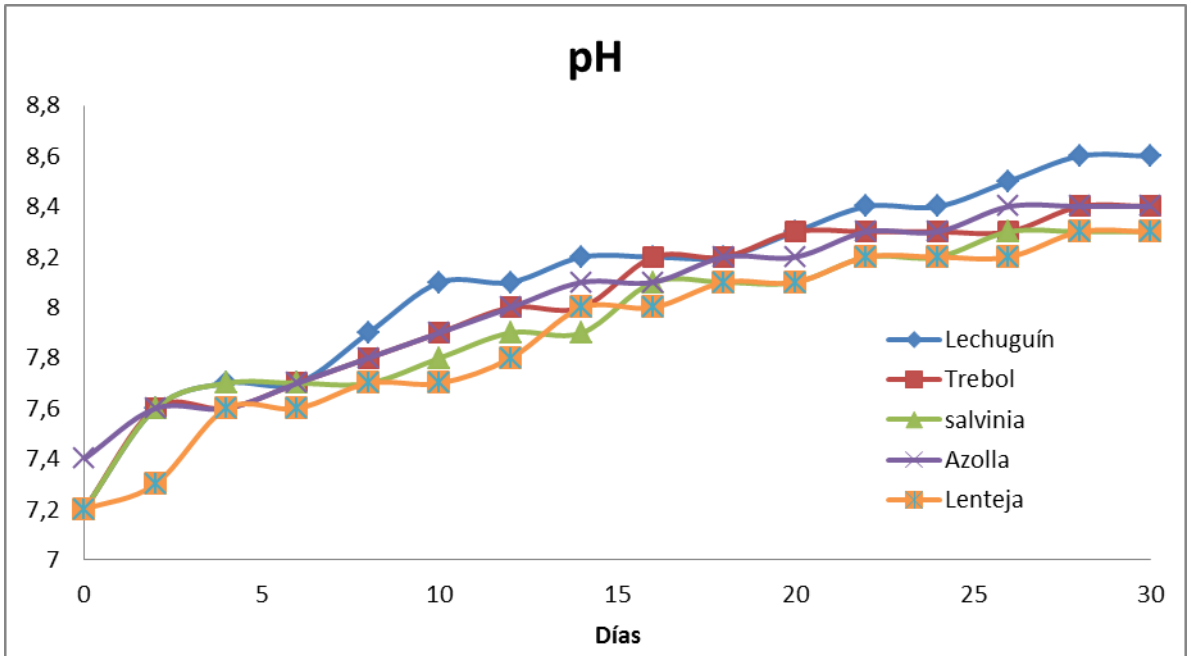
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013



# **Anexos C**

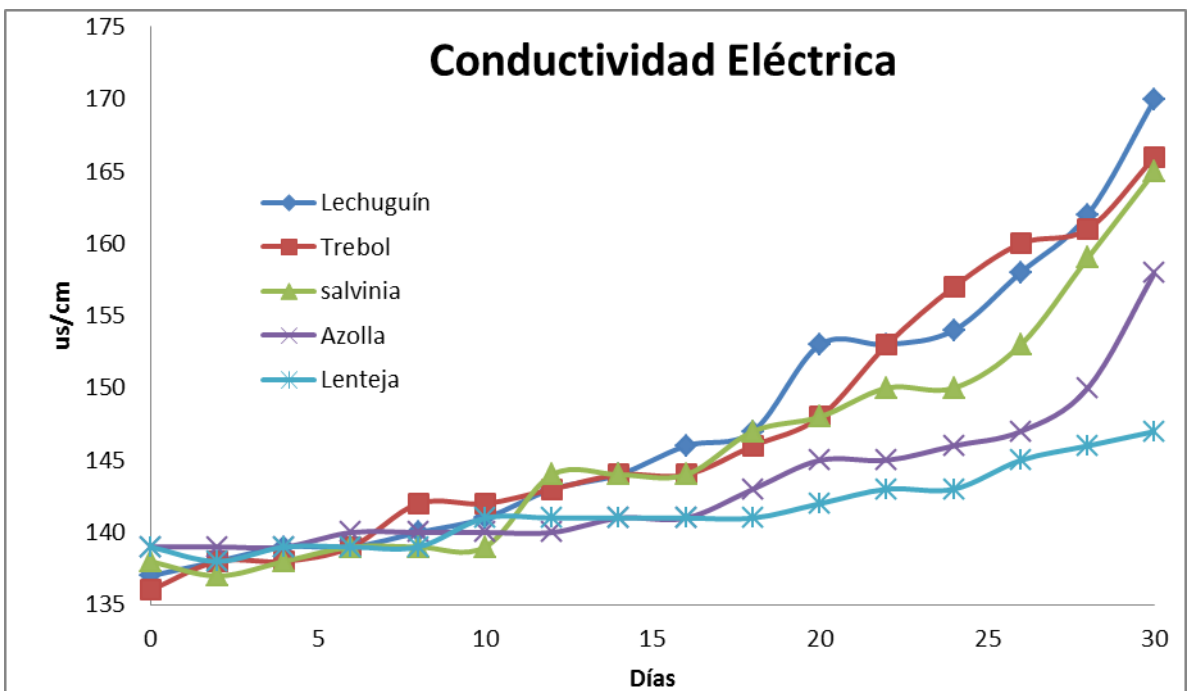
## *GRÁFICOS*

**Gráfico C-1: Comparación del pH del agua en las que se están desarrollando las distintas especies vegetales.**



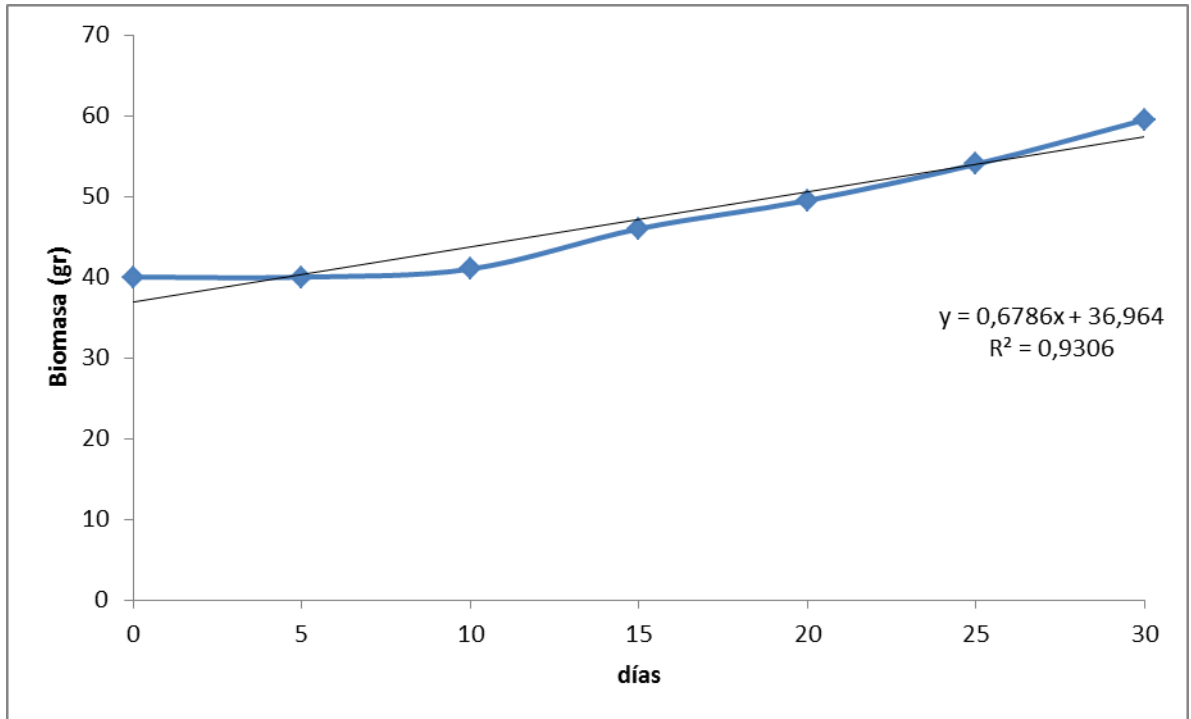
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-2: Comparación de la Conductividad eléctrica (us/cm) del agua en las que se están desarrollando las distintas especies vegetales.**



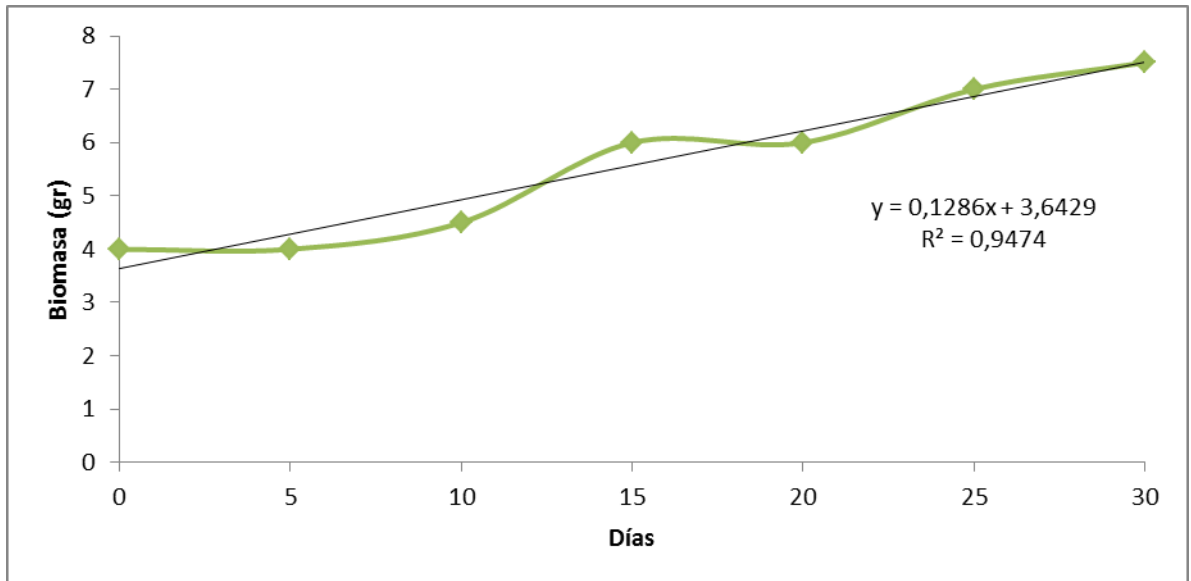
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-3: Producción de biomasa (g) de la especie: Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)**



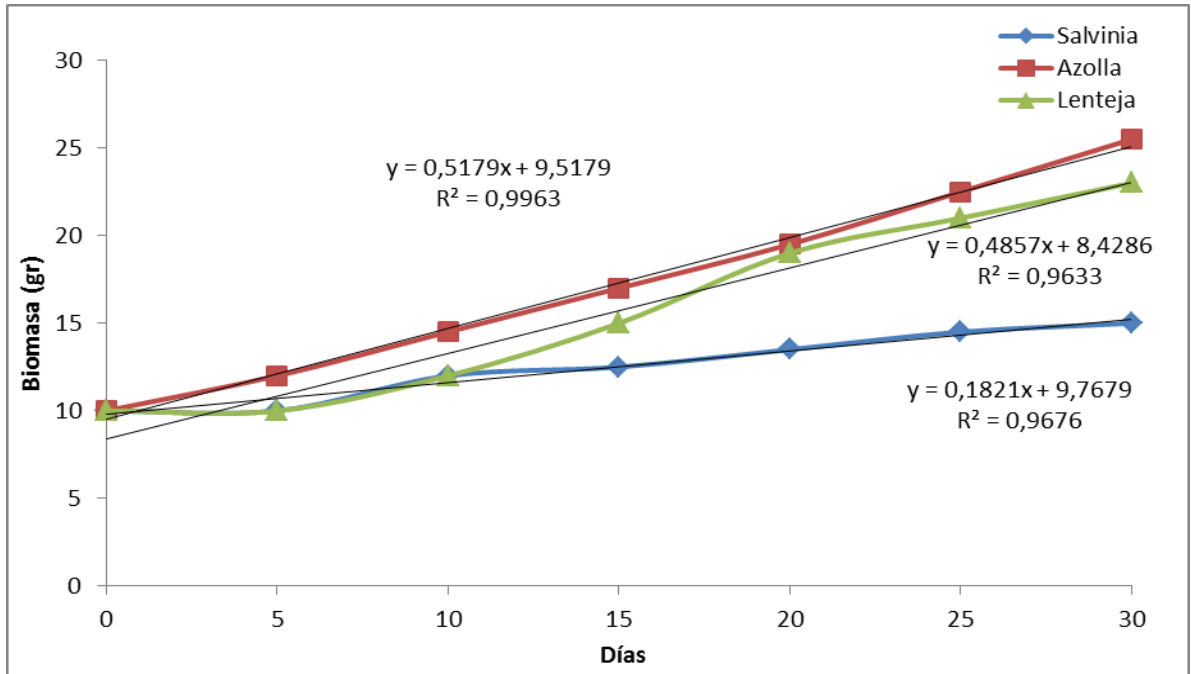
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-4: Producción de biomasa (g) de la especie: Trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)**



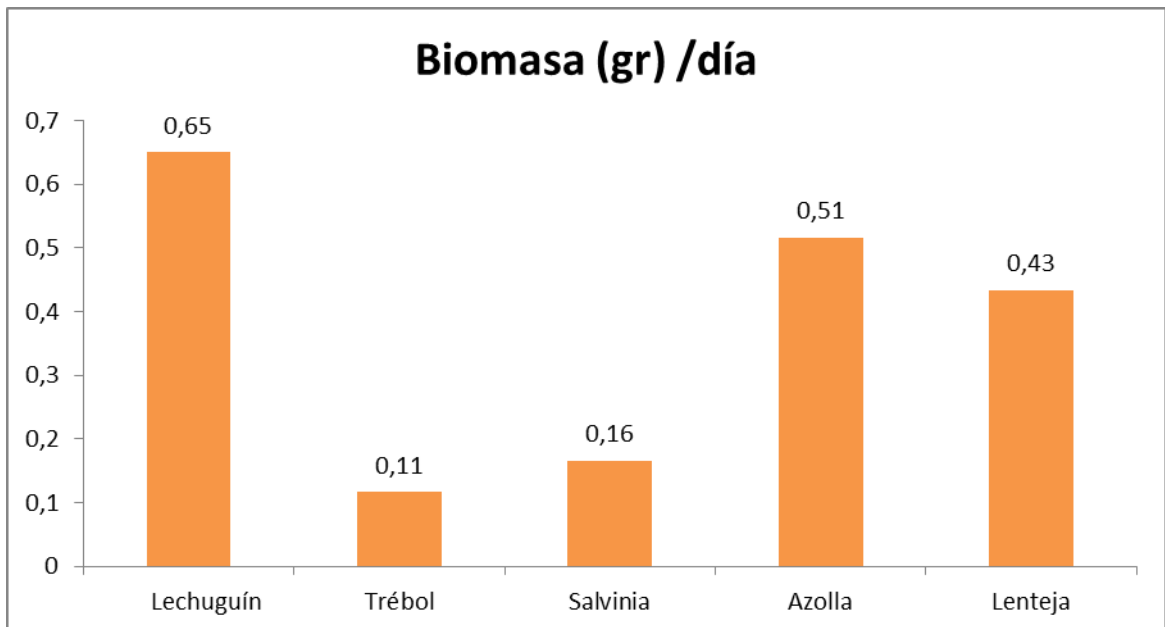
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-5: Producción de biomasa (g) de las 3 macrófitas acuáticas flotantes pequeñas: Salvinia (*Salvinia spp.*), Azolla (*Azolla spp.*) y Lenteja de agua (*Lemna spp.*)**



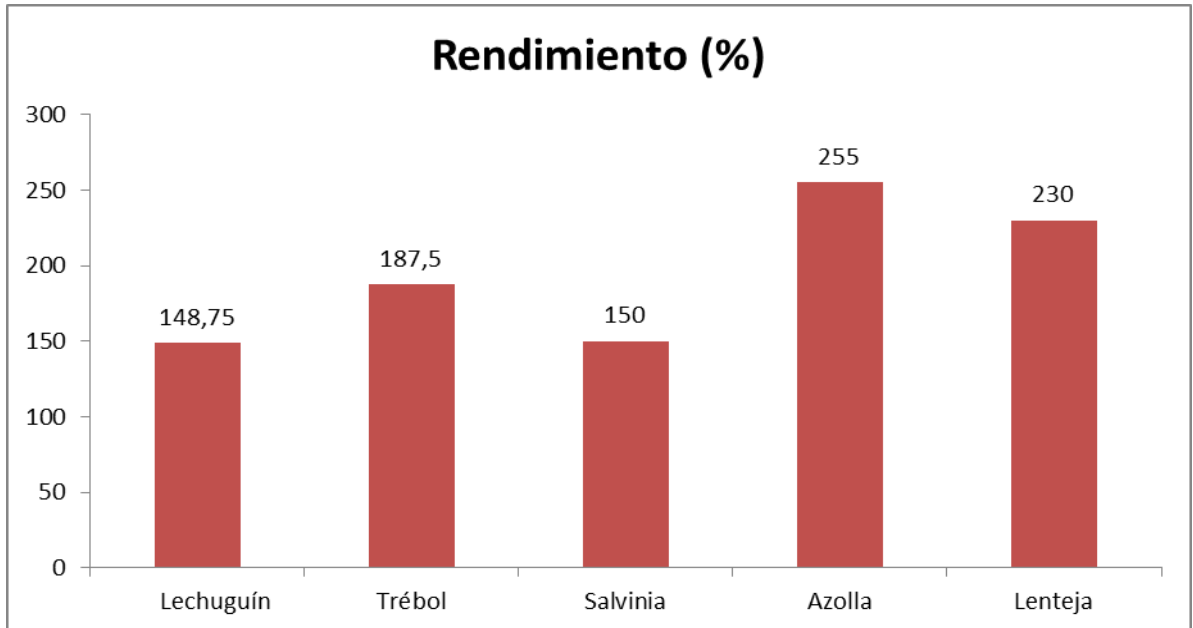
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-6: Comparación de producción de biomasa (g) / día de las distintas especies**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

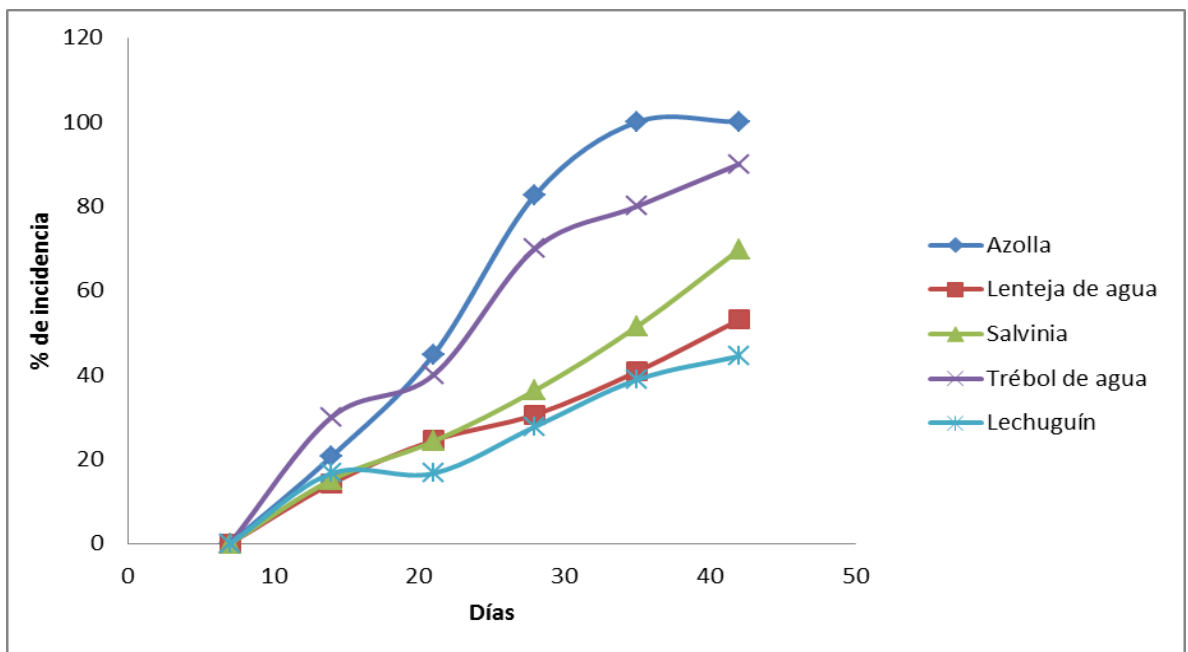
**Gráfico C-7: Comparación de porcentaje de rendimiento de las distintas especies.**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

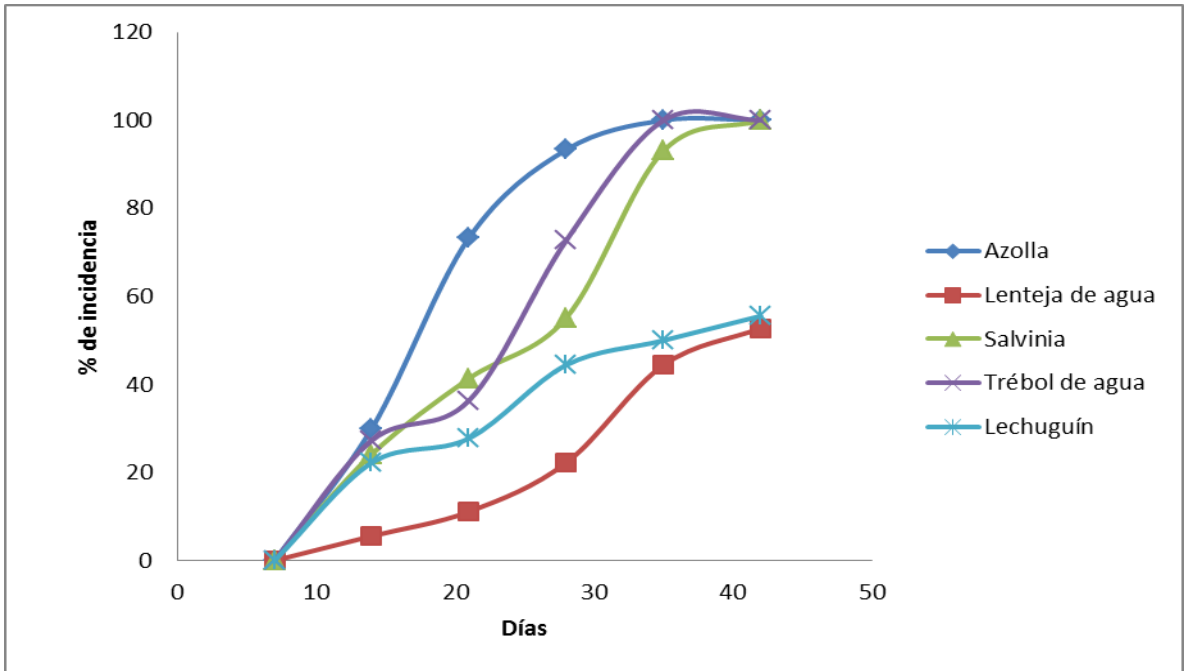
### PROCESO DE Pre- SELECCIÓN

**Gráfico C-8: Comparación de porcentaje de incidencia del agua de uso agrícola (Río Pachanlica) en las distintas especies vegetales**



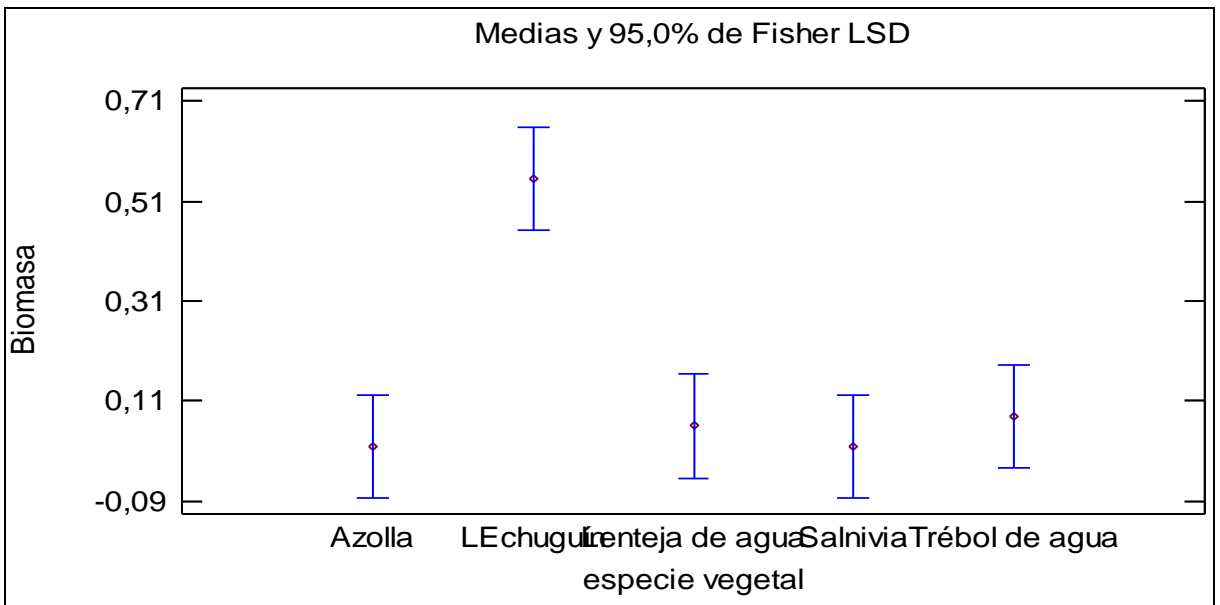
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-9: Comparación de porcentaje de incidencia del agua residual industrial (Lavadora de Jeans) en las distintas especies vegetales**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

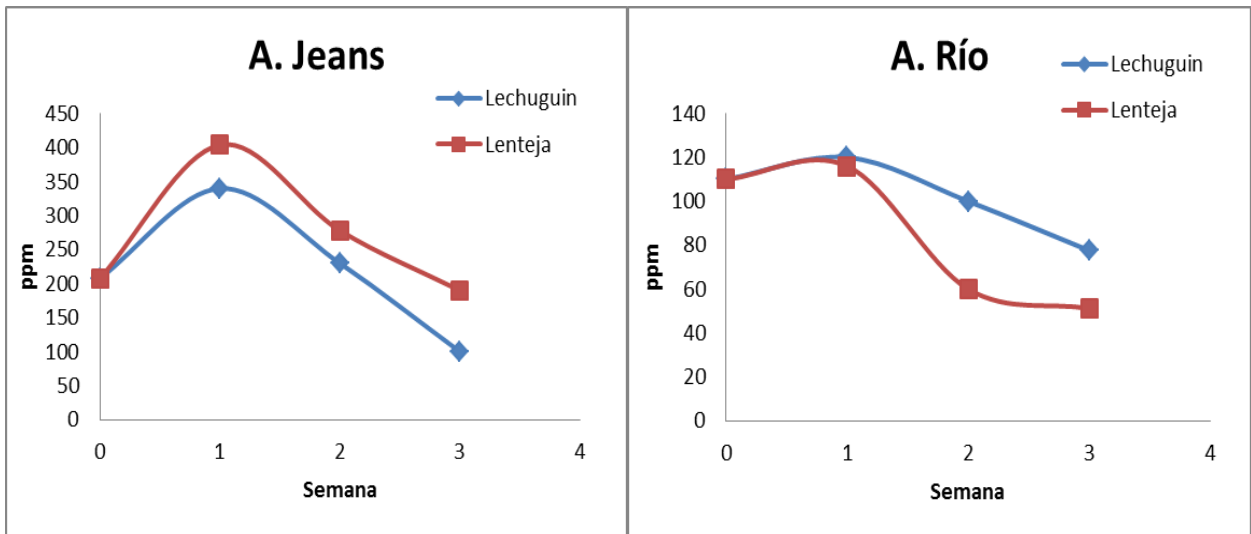
**Gráfico C-10: Resultado de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para la determinación del mejor tratamiento.**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

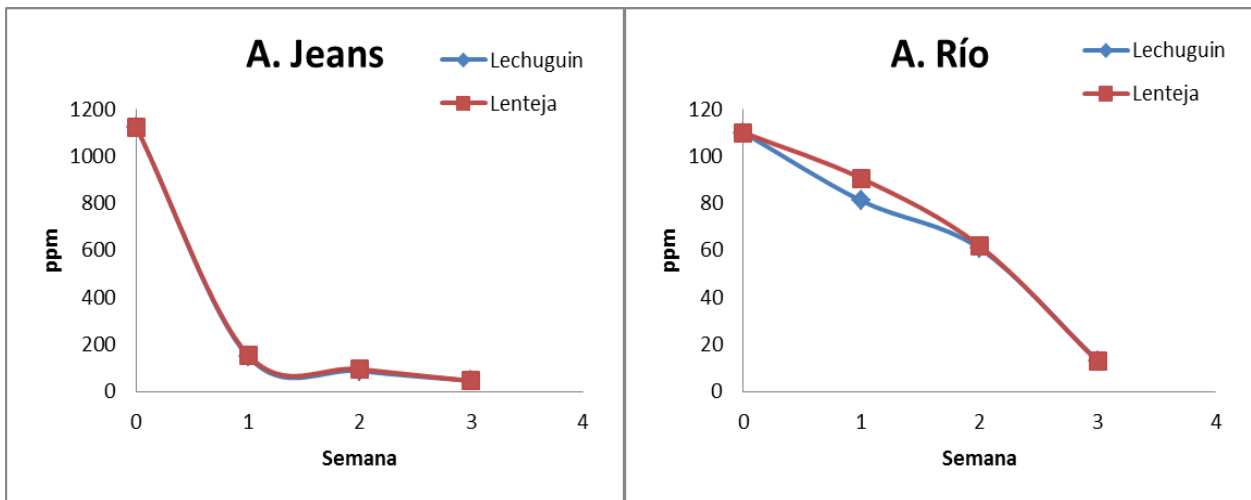
Resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del proceso de fitorremediación con las dos especies vegetales en las diferentes muestras de agua

**Gráfico C-11: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Dureza**



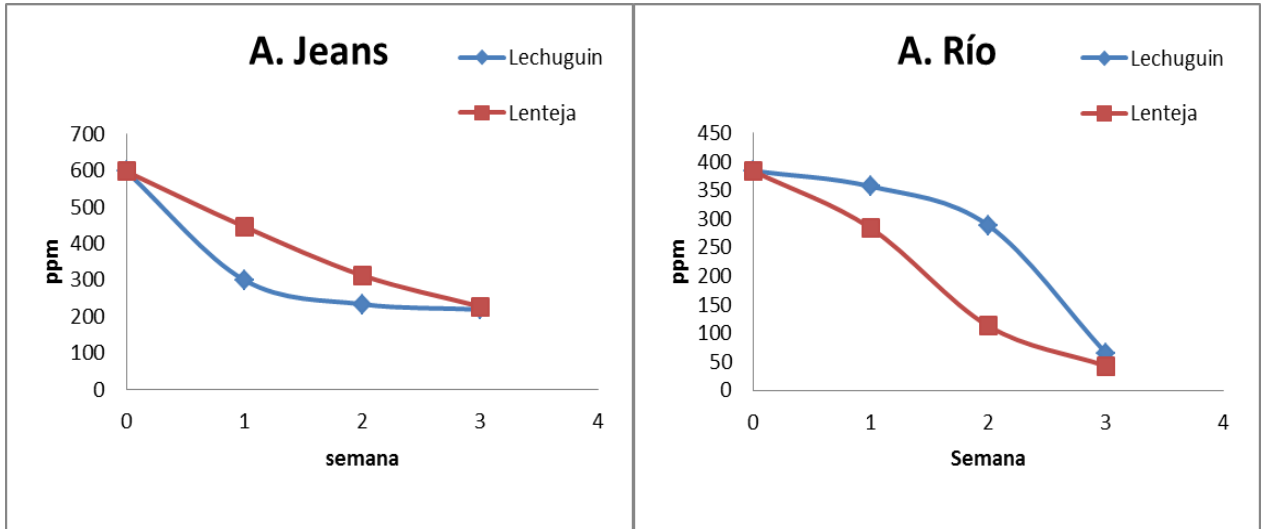
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-12: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Cloruros**



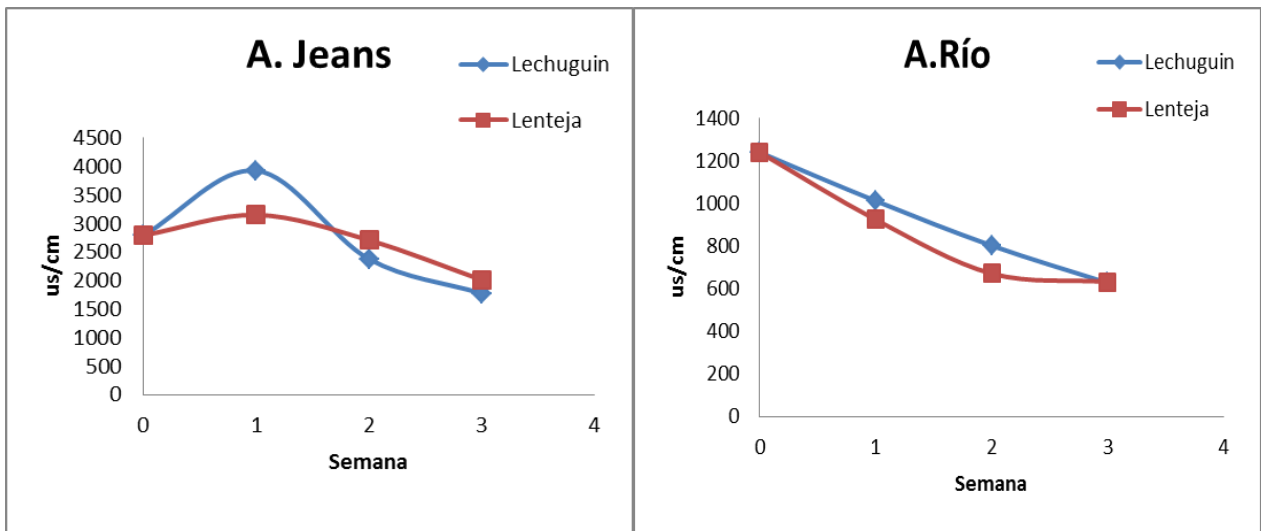
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-13: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Alcalinidad (ppm)**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

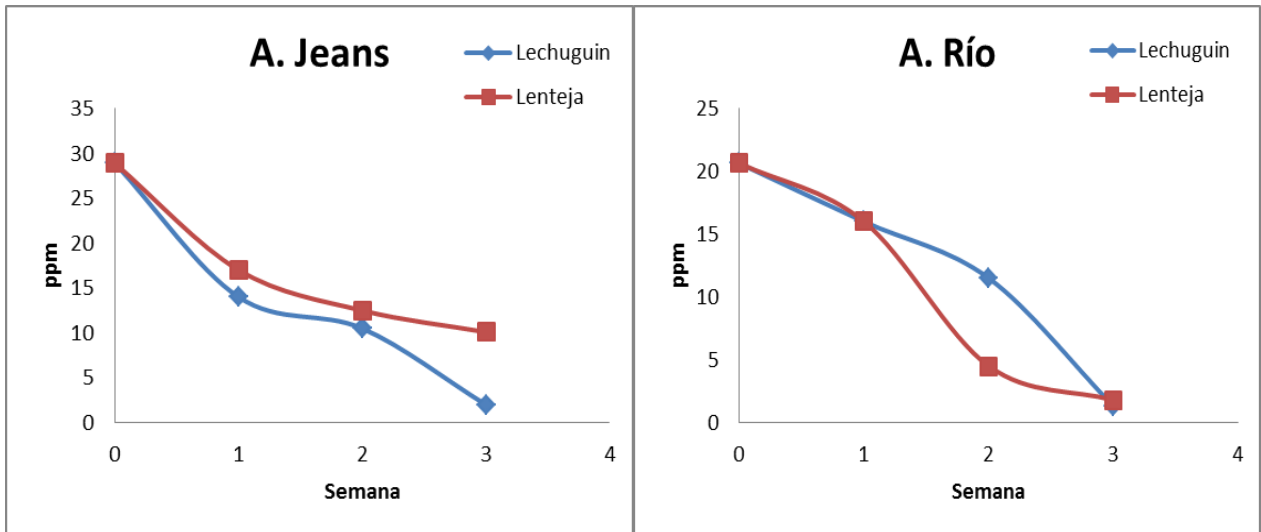
**Gráfico C-14: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Conductividad eléctrica (us/cm)**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

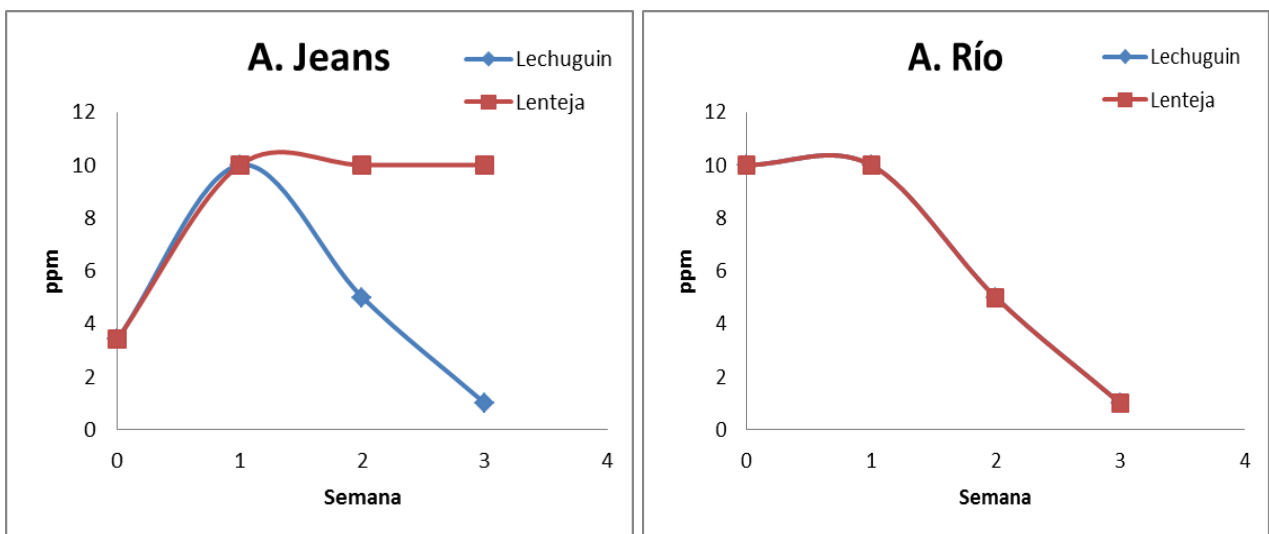


**Gráfico C-15: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Nitratos (ppm)**



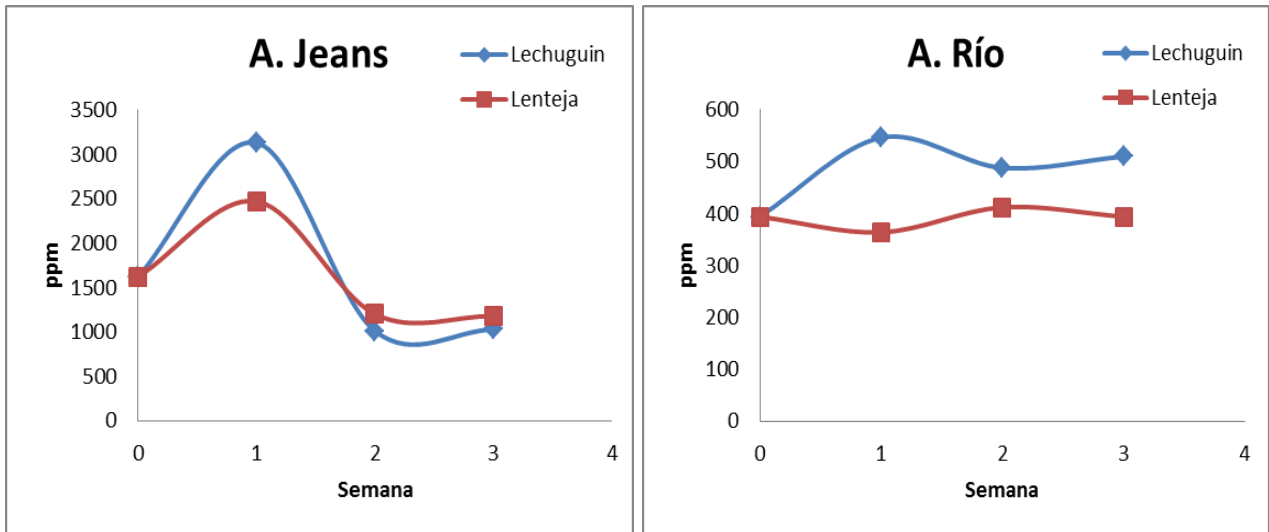
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-16: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Nitritos (ppm)**



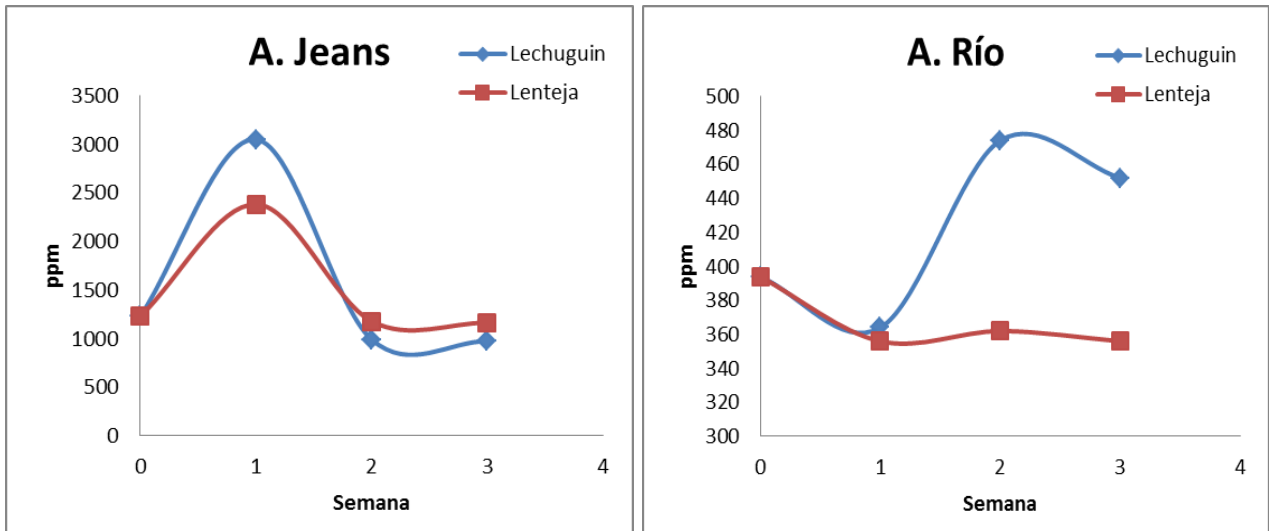
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-17: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Sólidos Totales (ppm)**



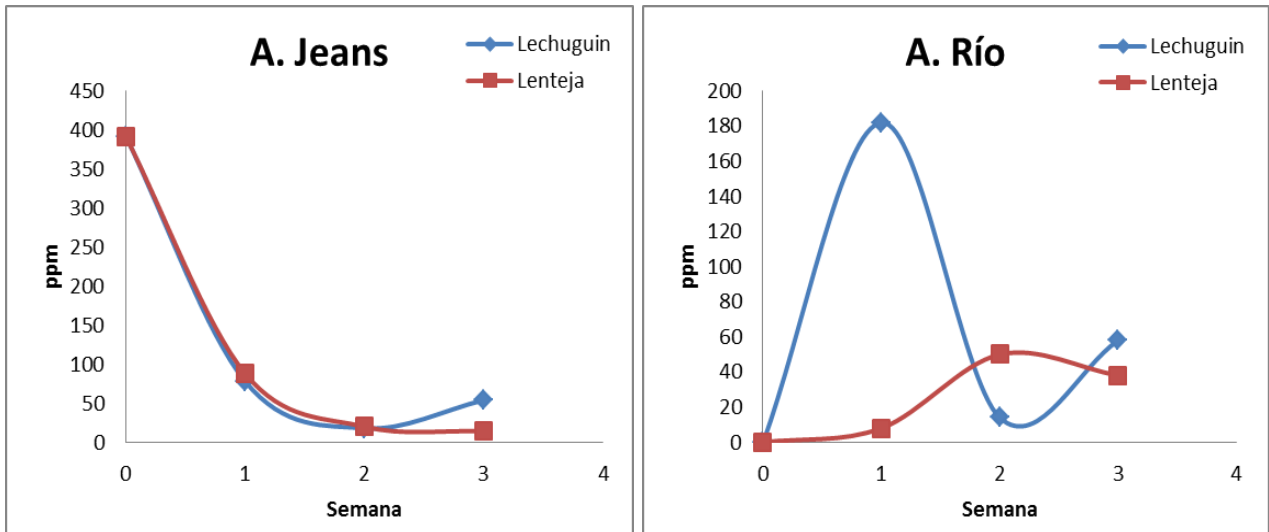
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-18: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Sólidos totales disueltos (ppm)**



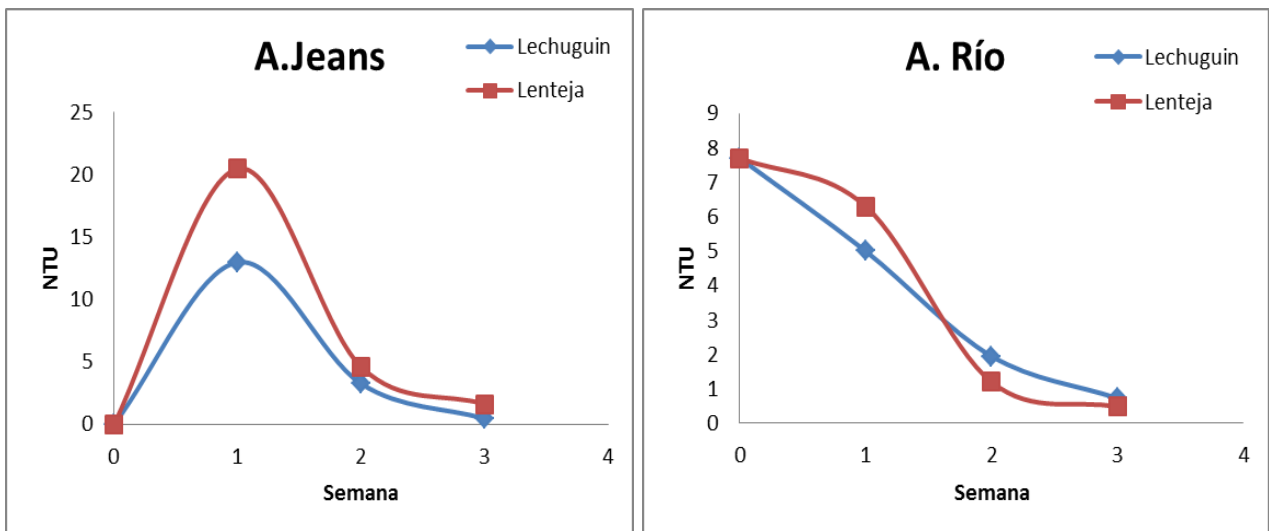
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-19: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Solidos Suspendidos (ppm)**



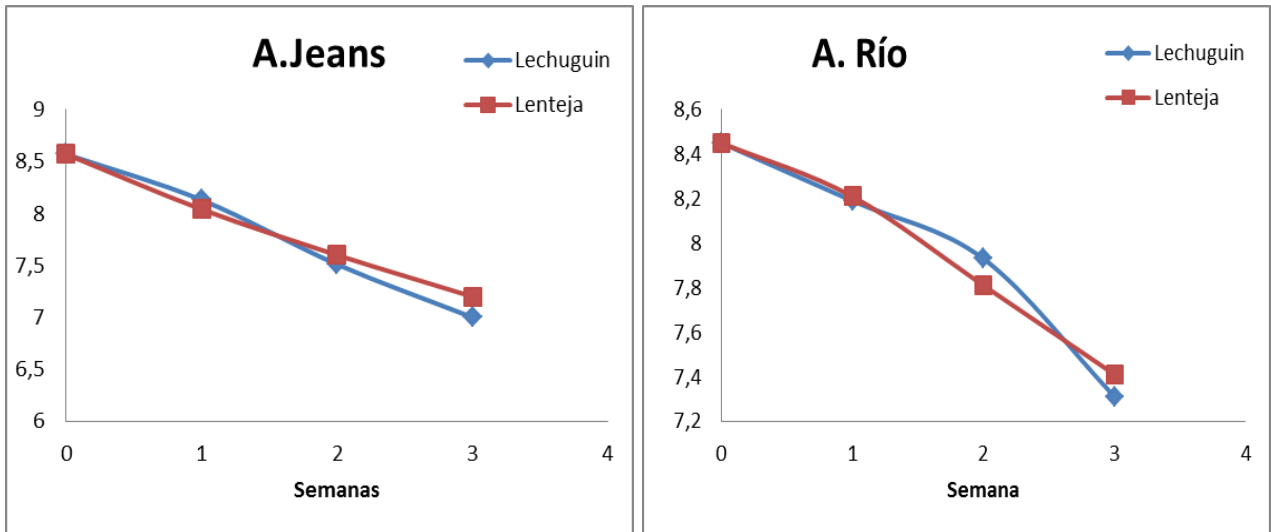
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-20: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Turbidez (NTU)**



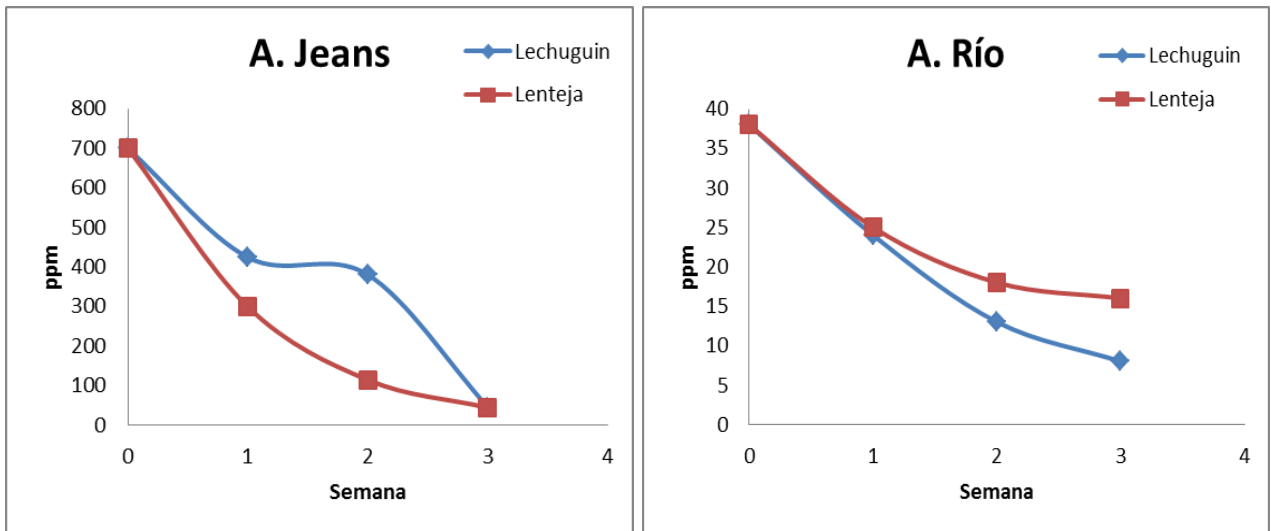
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-21: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: pH**



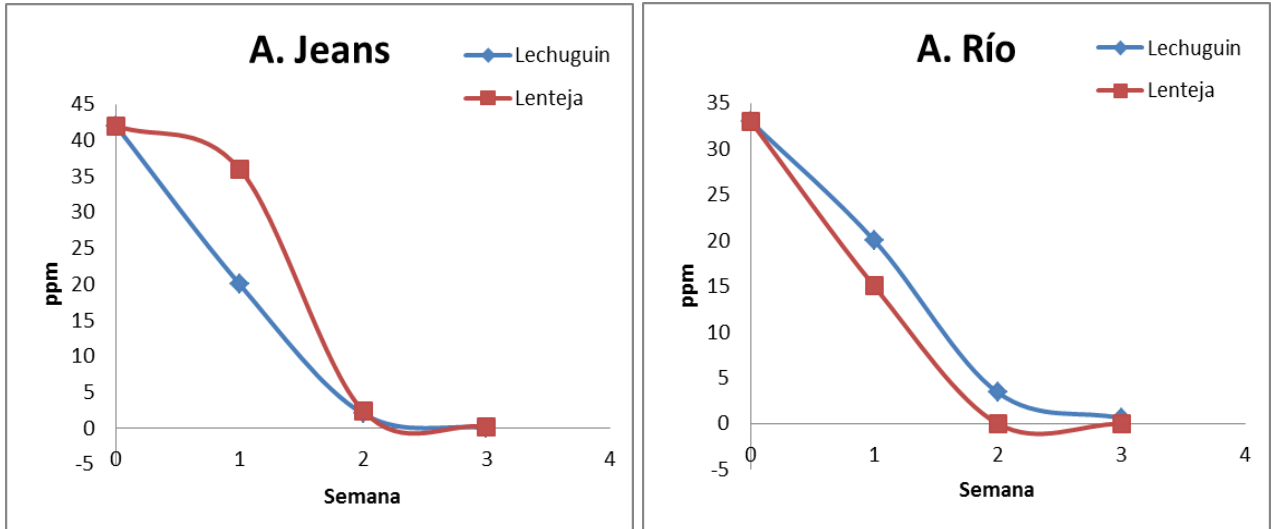
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-22: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Demanda Química de Oxígeno (ppm)**



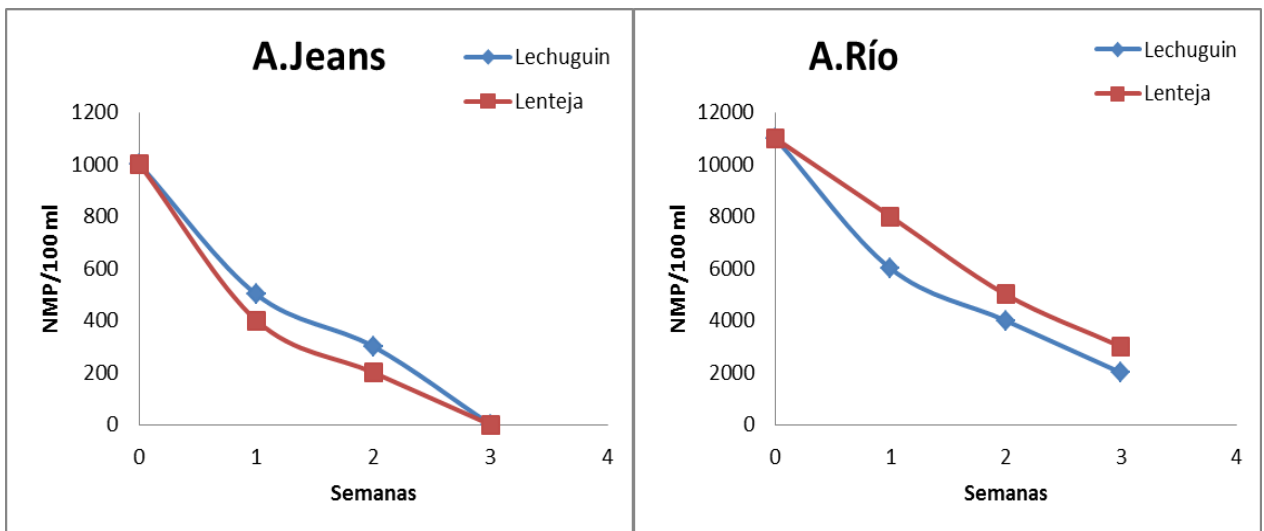
Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-23: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: Demanda Bioquímica de Oxígeno (ppm)**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

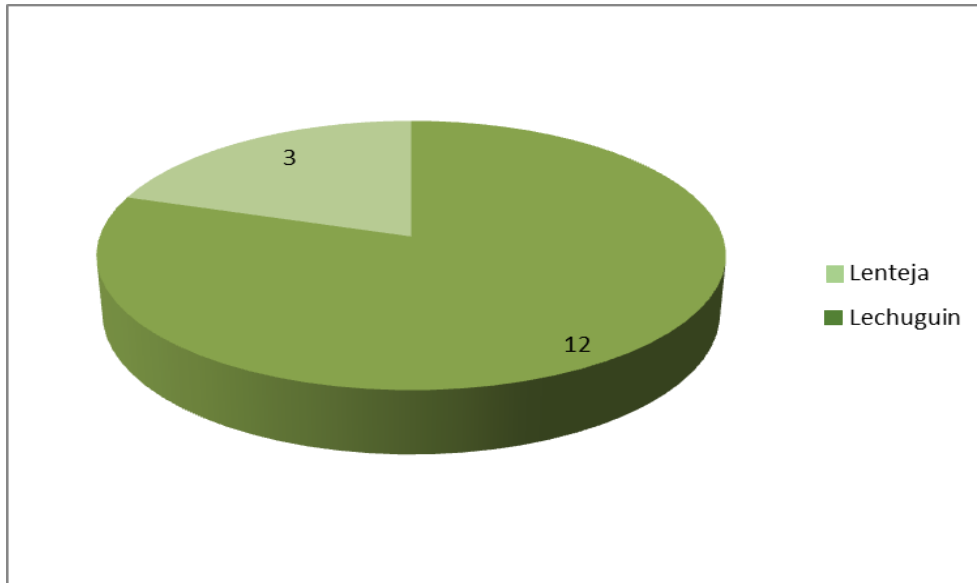
**Gráfico C-24: Resultado de la fitorremediación con el uso de las dos especies vegetales en los dos tipos de agua residuales en relación al parámetro: E. Coli Fecal**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

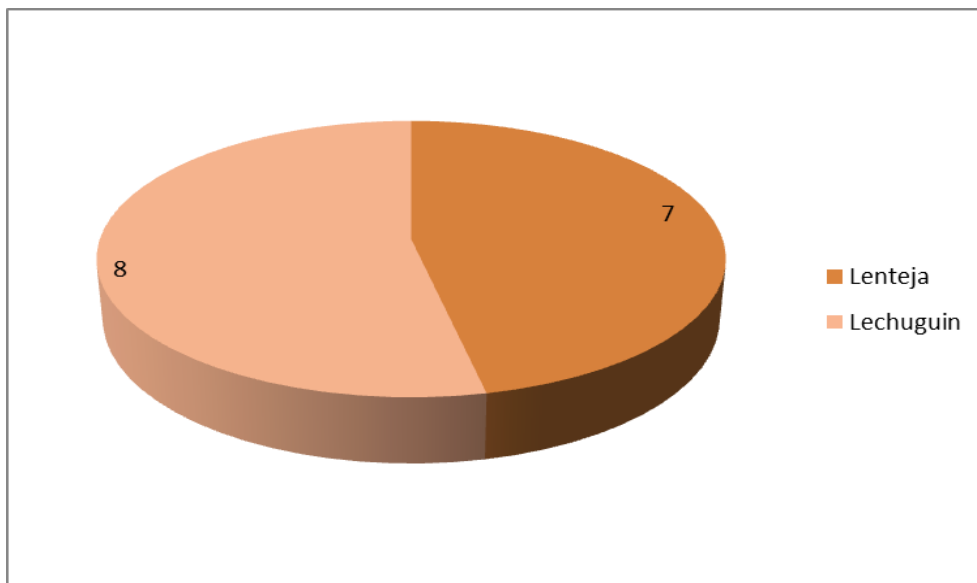
Mejor tratamiento para la fitorremediación de las distintas agua residuales

**Gráfico C-25: Resultado de la especie que presenta mejor resultados para la fitorremediación de agua residual industrial (Lavadora de jeans) en relación al número de parámetros analizados**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

**Gráfico C-26: Resultado de la especie que presenta mejor resultados para la fitorremediación de agua residual de uso agrícola (Río Pachanlica) en relación al número de parámetros analizados**



Fuente: Poveda Abigail - Elaborado por: Poveda, A. 2013

## **Anexos D**

# *PROTOSCOLOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA EN EL LABORATORIO*

## Protocolos para los Análisis físicos-químicos del agua residual

### **D-1: Parámetro: Dureza**

Materiales y Reactivos:

- Buffer de dureza
- Erio cromo negro T en polvo
- EDTA

Metodología:

- Tomar 50 ml de muestra.
- Añadir 1 ml de buffer de dureza.
- Añadir una porción de negro de erio cromo negro T en polvo (indicador).
- Titular con EDTA hasta obtener un viraje de violeta a azul claro.
- Cálculo:  $\text{ml gastados} \times 20 =$  (respuesta en ppm)

Los gráficos de los resultados de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-45)

### **D-2: Parámetro: Alcalinidad:**

Materiales y Reactivos:

- Anaranjado de metilo (indicador)
- Ácido sulfúrico 0,02N

Metodología:

- Tomar 50 ml de muestra.
- Añadir 4 gotas de anaranjado de metilo
- Titular con ácido sulfúrico 0,02N hasta obtener un viraje de anaranjado a rosado claro.
- Cálculo:  $\text{ml gastados} \times 20 =$  (respuesta en ppm)

Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-44)



### **D-3: Parámetro: Conductividad eléctrica**

Materiales y reactivos:

- Conductivímetro

Metodología:

- Tomar 100 muestra del agua en un vaso de precipitación.
- Medir el valor con la utilización de un conductivímetro.
- Medir la conductividad eléctrica (us/cm)

### **D-4: Parámetro: Color**

Materiales y reactivos:

- Colorímetro

Metodología:

- Tomar 50 ml de muestra (agua cruda o agua tratada).
- Colocar en la celda del colorímetro
- Utilizando agua destilada como blanco medir el color de la muestra de agua. Si es necesario para observar mejor el color realizar las diluciones necesarias hasta obtener un color más semejante a los patrones.

### **D-5: Parámetro: pH**

Materiales:

- pH-metro

Metodología:

- De ser necesario se debe realizar la calibración del pH-metro.
- Tomar una muestra agua.
- Medir el pH utilizando un pH- metro.

Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-42)

## **D-6: Parámetro: Turbidez**

Materiales y reactivos:

- Turbidímetro
- Tubos para medición

Metodología:

- Tomar 10 ml de la muestra de agua
- Colocar la muestra en los tubos
- Leer el valor de cada muestra en el turbidímetro. Esperar algunos segundos y el valor más alto de lectura que se puede observar será el valor tomado como dato.

Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-39)

## **D-7: Parámetro: Nitritos**

Materiales y Reactivos:

- Espectrofotómetro
- Sobre para nitritos (HACH)

Metodología:

- Tomar 10ml de agua destilada (blanco) y residual
- Añadir el agua en 2 celdas (blanco y muestra) para leer en el espectrofotómetro.
- Añadir a la muestra el contenido del sobre para nitritos.
- Agitar por aproximadamente 1 min.
- Dejar reposar las dos celdas por el tiempo ya establecido para cada metal (20min) que aparece en el espectrofotómetro luego de programarlo para ese metal.
- Leer primero el blanco y luego la muestra.

El mismo procedimiento se realiza para los nitratos con la diferencia de los tiempos de espera para cada caso. Nitratos 5 min.

Los gráficos de los resultados de las pruebas se muestran en el Anexo F (Imagen F-43)

#### **D-8: Parámetro: Cloruros**

Materiales y Reactivos:

- Espectrofotómetro
- Solución de ion férrico
- Pipetas
- Solución de Tiocianato mercúrico

Metodología:

- Tomar 10ml de agua destilada (blanco) y residual
- Añadir 0,8 ml de la solución de tiocinato mercúrico
- Añadir 0,4ml de la solución ion férrico
- Añadir el agua en 2 celdas (blanco y muestra) para leer en el espectrofotómetro.
- Dejar reposar las dos celdas por el tiempo por 2 min
- Leer primero el blanco y luego la muestra en el espectrofotómetro.

Los gráficos de los resultados de las pruebas se muestran en el Anexo F (Imagen F-43)

## **D-9: Parámetro: Sólidos totales (ST), suspendidos (SS) y disueltos (SD)**

### **Materiales y Reactivos:**

- Cápsulas de porcelana
- Balanza analítica
- Matraz Erlenmeyer
- Papel filtro
- Embudo de vidrio
- 100 ml de muestra

### **Metodología:**

- Pesar la cápsula de porcelana para determinar cada sólido.
- Sólidos Totales : 50 ml de agua sin filtración
- Sólidos Disueltos : 50ml de agua previamente filtrada
- Secar a 100Grados C durante 24 horas.
- Pesar la capsula con los residuos

Cálculo: Valor pesado \* 20000. Las unidades finales son en ppm.

Solidos suspendidos: Es la diferencia entre los ST y los SD. Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento se muestran en el Anexo F (Imagen F-40)

## D-10: Parámetro: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Materiales y reactivos:

- Una botella color ámbar
- Un agitador magnético
- Buffer nutritivo para DBO<sub>5</sub>
- Tapón de caucho y grasa
- Sobre de hidróxido de litio
- Equipo para DBO<sub>5</sub>

Metodología:

**Tabla 13: Volumen de muestra utilizada dependiendo del Rango de DBO<sub>5</sub>**

Rango (mg/l)	Vol. De muestra Requerido (ml)
0 – 35	420
0 – 70	355
0 – 350	160
0 – 700	95

Fuente: Fiallos, L. 2011 - Elaborado por: Poveda, A.

Dependiendo del tipo de agua y del rango de DBO<sub>5</sub> se determina el volumen con la tabla anteriormente mencionada.

- Verter el volumen determinado en una botella color ámbar y colocar el agitador magnético
- Añadir el buffer nutritivo para DBO<sub>5</sub>
- Sellar la botella con un tapón de caucho, aplicando grasa en el pico de la botella para mejorar la superficie del sellado entre la botella y el tapón.

- Añadir cuidadosamente un sobre de LiOH en el interior del tapón con la ayuda de un embudo para evitar que se derrame el LiOH sobre la solución ya preparada.
- Conectar adecuadamente los tubos a cada botella y leer el valor final pasado los 5 días directamente en la pantalla del equipo.
- 

Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-37)

## **D-11: Parámetro: Demanda Química De Oxígeno (DQO)**

### **Materiales y Reactivos:**

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

### **Metodología:**

- Encender el reactor para DQO hasta que se caliente a 150°C.
- Abrir dos tubos con el reactivo para DQO.
- Añadir 2ml de agua destilada en el tubo 1 (Blanco)
- Añadir 2ml del agua residual en el tubo 2 (Muestra). De preferencia la adición del agua se realiza por las paredes del tubo y de una manera lenta.
- Cerrar muy bien los tubos.
- Mezclar suavemente los tubos hasta que se forme una solución homogénea.
- Colocar los tubos en el reactor una vez que este ya haya llegado a los 150°C y durante 2 horas.
- Apagar el reactor y dejar enfriar los tubos en una gradilla procurando solo manipularlos tomándolos de la tapa del mismo.
- Seleccionar en el espectrofotómetro el programa de lectura de DQO.
- Leer en primer lugar el tubo 1 (blanco) y posteriormente leer el tubo 2 (muestra).

Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-36)

## D-12: Parámetro: Detergentes

### Materiales y Reactivo:

- Espectrofotómetro
- Embudo de separación
- Reactivo para detergente
- Solución buffer de sulfato pH 2
- Benceno
- Soporte
- Pipeta

### Metodología:

- Verter 300 ml de la muestra a un embudo de separación.
- Añadir 10 ml de solución buffer de sulfato con una pipeta y agitar.
- Añadir un sobre con reactivo para detergentes y agitar nuevamente
- Añadir 30 ml de benceno en el embudo. Cerrar el embudo y agitar suavemente evitando la formación de burbujas durante un minuto.
- Dejar el embudo en un soporte para que se dé la separación de las fases y esperar 30 minutos.
- Eliminar el contenido del embudo de separación necesario hasta solo quedarnos con el líquido mezclado con el benceno.
- Añadir el líquido resultante en una celda para posteriormente leerle en el espectrofotómetro. Como blanco se utilizara el benceno puro adicionado en otra celda.
- Leer en el espectrofotómetro las dos celdas primero el blanco y luego la muestra.



### **D-13: Parámetro: Grasas y aceites**

Materiales y reactivos:

- Disolvente por ejemplo hexano
- Matraz de 1000 ml
- Papel filtro
- Varilla de agitación Sorbona
- Embudo
- Matraz de 250ml
- Ácido clorhídrico concentrado

Metodología:

- Tomar un litro de la muestra de agua.
- Acidificar la muestra con HCl concentrado hasta pH 2 (medir el pH de la muestra).
- Filtrar la muestra con papel filtro (repetir este paso una vez más).
- Colocar el papel filtro utilizado en un matraz de 250 ml. Añadir en el matraz 30ml del disolvente.
- Cortar el papel filtro con ayuda de unas tijeras hasta hacerle trozos pequeños.
- Desmenuzar los trozos del papel contra las paredes del matraz y con ayuda de una varilla de agitación, con el objetivo de extraer todo el contenido de grasa y aceite del papel filtro.
- Pesar un matraz de 250ml.
- Añadir el contenido del primer matraz en el segundo ya tarado, evitando el paso de residuos que quedaron del papel.
- Secar el líquido contenido en el matraz a baño maría.
- Una vez seco, dejar enfriar y pesar nuevamente el matraz

- El peso resultante de la diferencia es la cantidad de grasa y aceite de la muestra.

Los gráficos de los materiales, reactivos y procedimiento de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-38)

**Formula:**

$$ppm \text{ grasa total} = \frac{dif (P \text{ final} - P \text{ inicial}) * 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

## Protocolos para el análisis microbiológico del agua residual

### **D-14: Parámetro: Determinación de coliformes fecales por filtración por membranas**

Aspecto típico de la colonia: las bacterias coliformes fecales son de color azul, otras bacterias presentan de un color gris a crema.

Materiales y reactivos:

- Miliporo
- Aparato ensamblado para realizar la filtración por membranas
- Ampollas con medio para coliformes fecales (M-FC Broth con ácido rosálico )
- Placas petri
- Incubadora

Metodología:

- Preparar 100 ml de la muestra ( si es necesario hacer dilución dependiendo de muestra de agua residual)
- Preparar las Placas Petri
- Colocar en miliporo y ensamblar el sistema de filtración al vacío
- Filtrar la muestra diluida
- Colocar el miliporo con ayuda de pinzas en la placa petri
- Incubar a la temperatura apropiada a 40°C
- Contar las colonias si es necesario con ayuda del microscopio.

Los gráficos de los materiales, reactivos, procedimiento y resultados de la prueba se muestran en el Anexo F (Imagen F-40)

# **Anexos E**

## *DOCUMENTOS*



**EMPRESA PÚBLICA-EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE  
Y ALCANTARILLADO DE AMBATO**

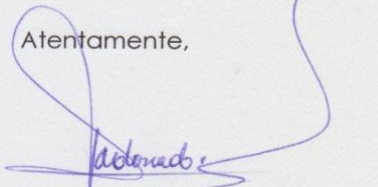
EP-EMAPA-A-GG-1568-2013  
Ambato, 10 de septiembre de 2013

Egresada  
Abigail Poveda  
Ciudad

De mi consideración

En atención al oficio s/n de fecha 01 de octubre de 2013, esta Gerencia autoriza que realice la investigación para la tesis de grado denominada **"EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUATICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y DE USO AGRICOLA PREVIAMENTE CARACTERÍSTICAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"**, sírvase coordinar con la Dirección de Operación y Mantenimiento, y se servirá dejar una copia de la tesis mencionada en la Institución.

Atentamente,

  
ING. RAFAEL MALDONADO V.  
**Gerente**



2013-10-08  
c.c. Operación y Mantenimiento  
Administrativo  
Jacqueline G.  
SAD/8347-2013

**Anexos F**

*IMÁGENES*

**Imagen F-1: Vista frontal del agua residual de uso agrícola usada para la investigación (Río Pachanlica-Sector Totoras)**



**Imagen F-2: Condiciones actuales del Río Pachanlica**



**Imagen F-3: Condiciones de la vegetación aledaña al Río Pachanlica**



**Imagen F-4: Toma de la muestra del agua del Río Pachanlica**





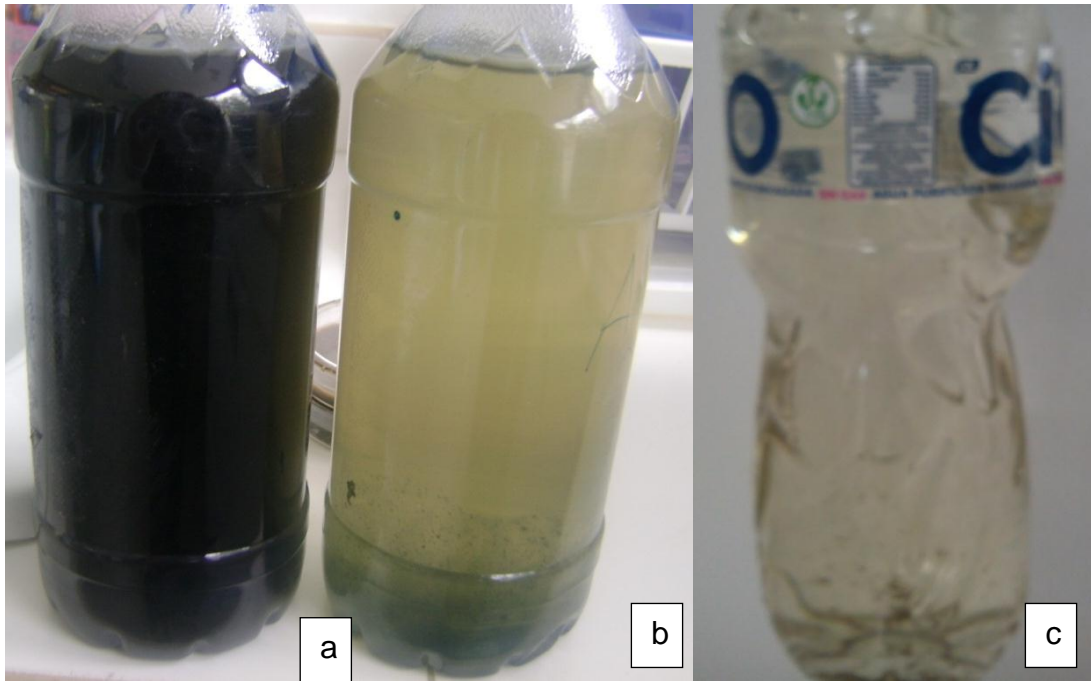
**Imagen F-5: Agua residual industrial resultante de la industria de la lavadora de Jeans**



**Imagen F-6: Planta de tratamiento del agua residual del Jeans**



**Imagen F-7: Muestras de agua utilizadas en la primera parte de la investigación**



a) Agua Residual del lavado de Jeans sin tratamiento, b) agua residual del lavado de jeans con tratamiento, c) Agua del Río Pachanlica

**Imagen F-8: Inicio del proceso de adaptación de la especie azolla (*Azolla spp.*)**



**Imagen F-9: Inicio del proceso de adaptación de la especie lenteja de agua (*Lemna spp.*)**



**Imagen F-10: Inicio del proceso de adaptación de la especie trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)**



**Imagen F-11: Inicio del proceso de adaptación de la especie Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)**



**Imagen F-12: Inicio del proceso de adaptación de la especie salvinia (*Salvinia spp.*)**

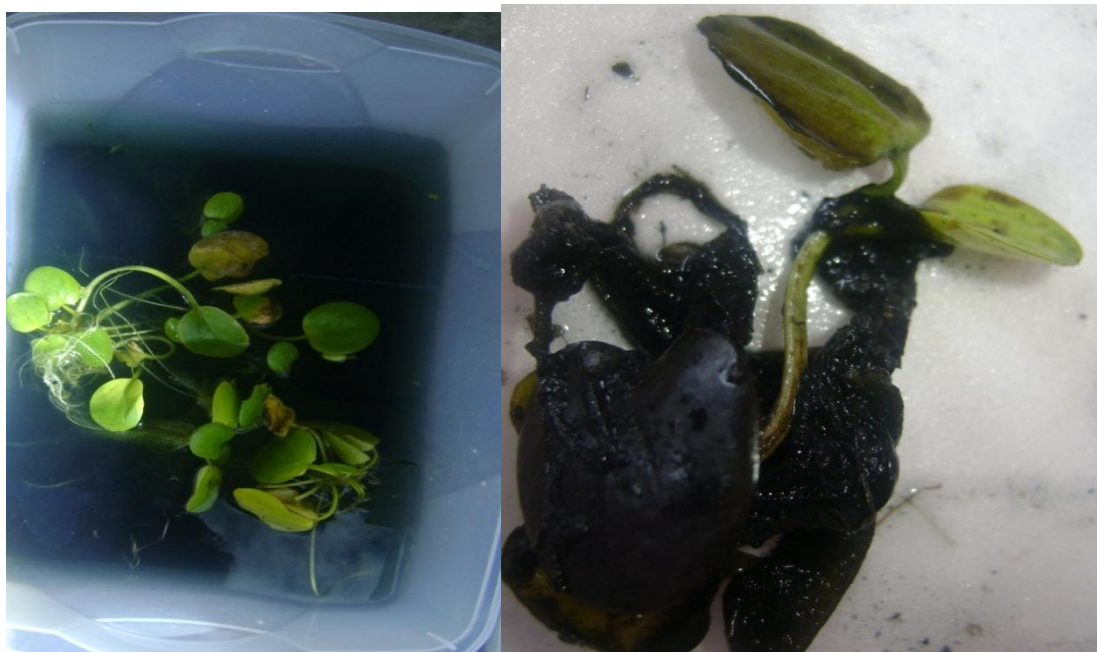


PRUEBAS PRELIMINARES

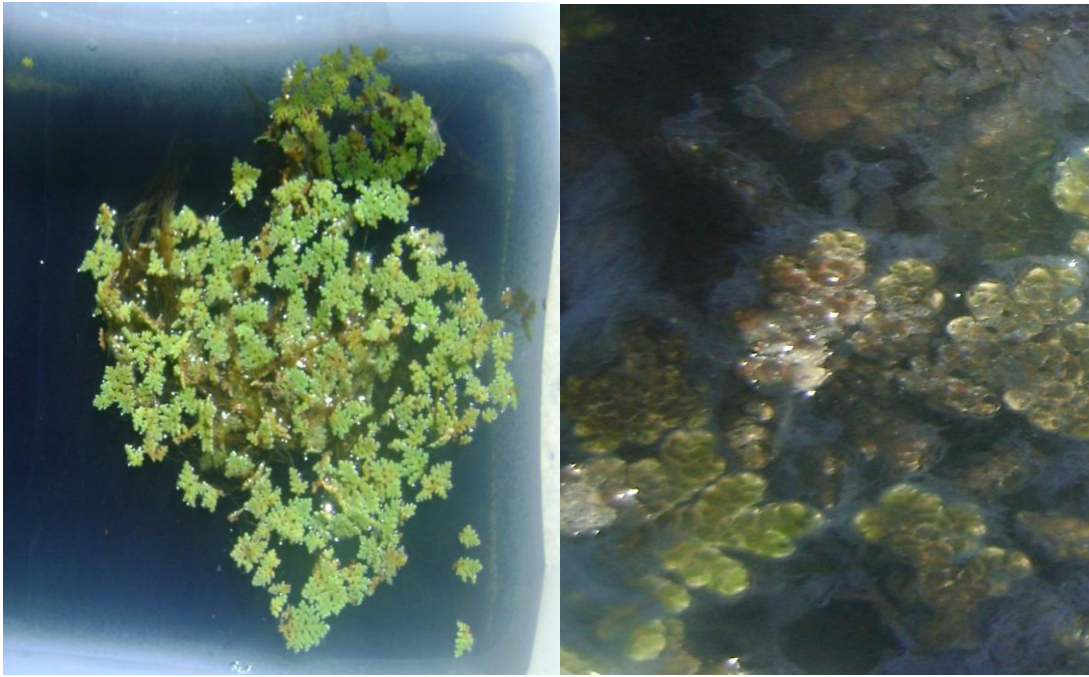
**Imagen F-13: Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: lechuguín (*Eichhornia crassipes*)**



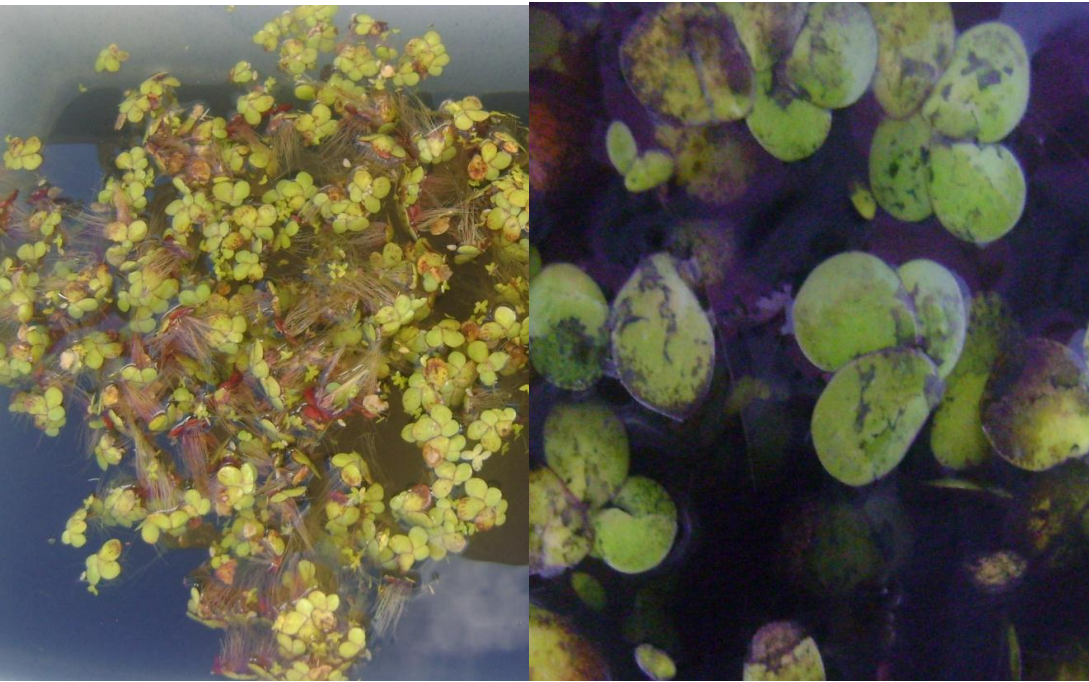
**Imagen F-14: Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)**



**Imagen F-15: Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: azolla (*Azolla spp.*)**



**Imagen F-16: Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: lenteja de agua (*Lemna spp.*)**

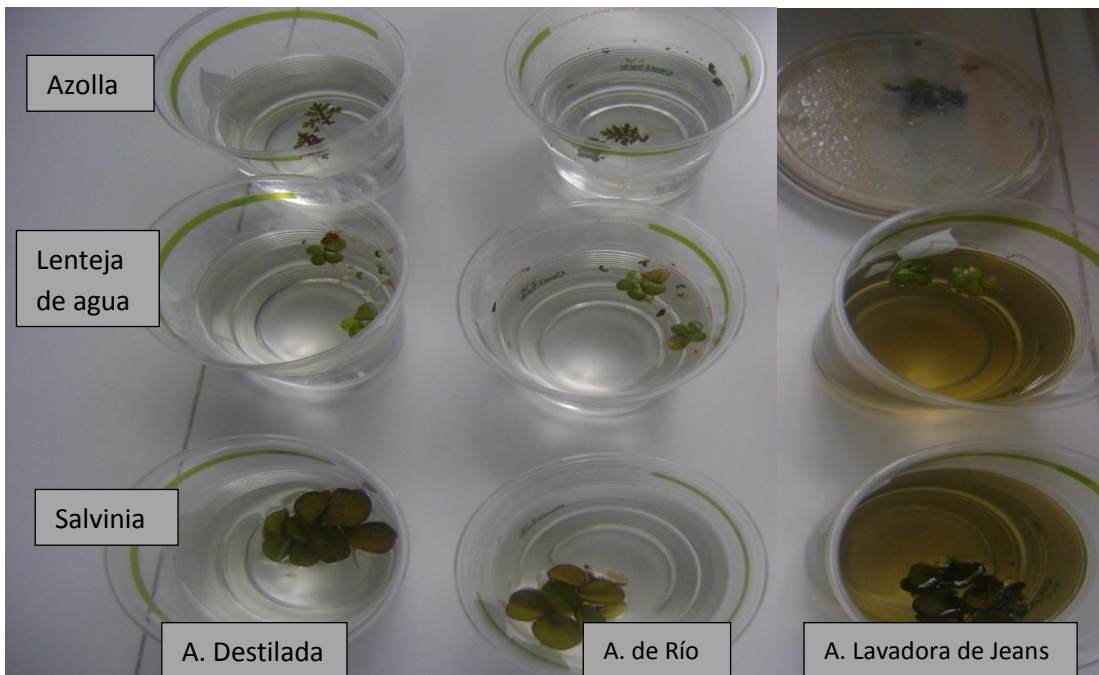


**Imagen F-17: Prueba preliminar en el agua residual industrial (sin tratamiento) de la planta acuática flotante: salvinia (*Salvinia spp.*)**

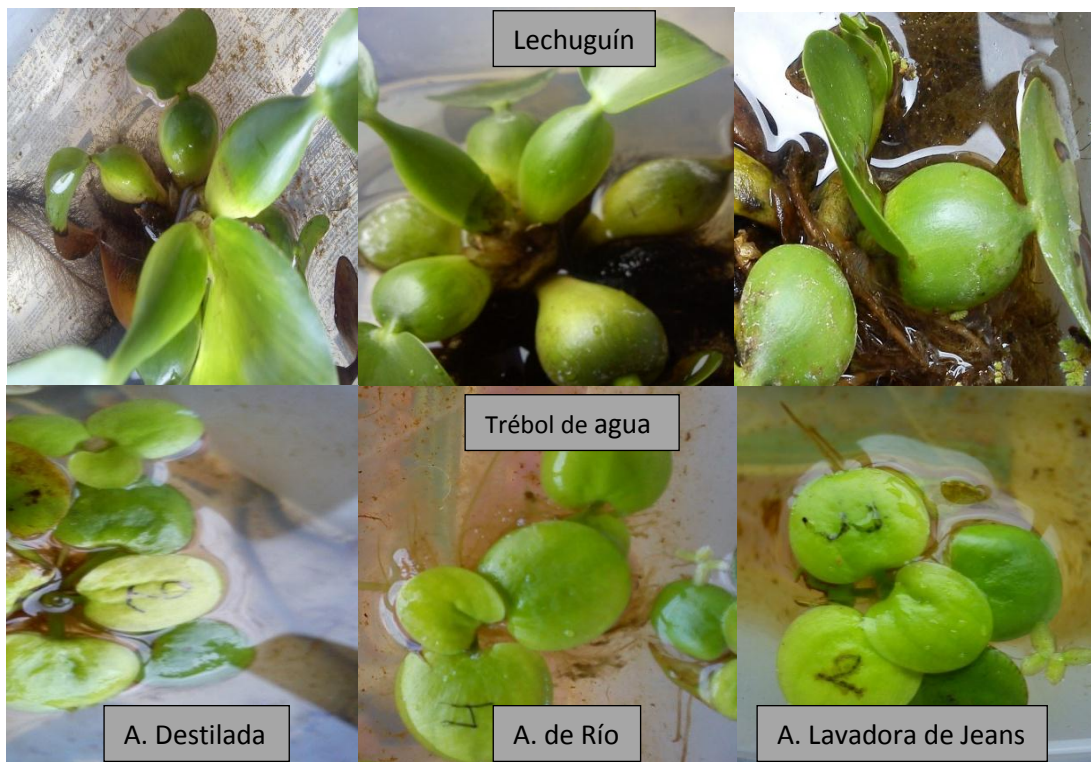


FASE DE Pre-SELECCIÓN

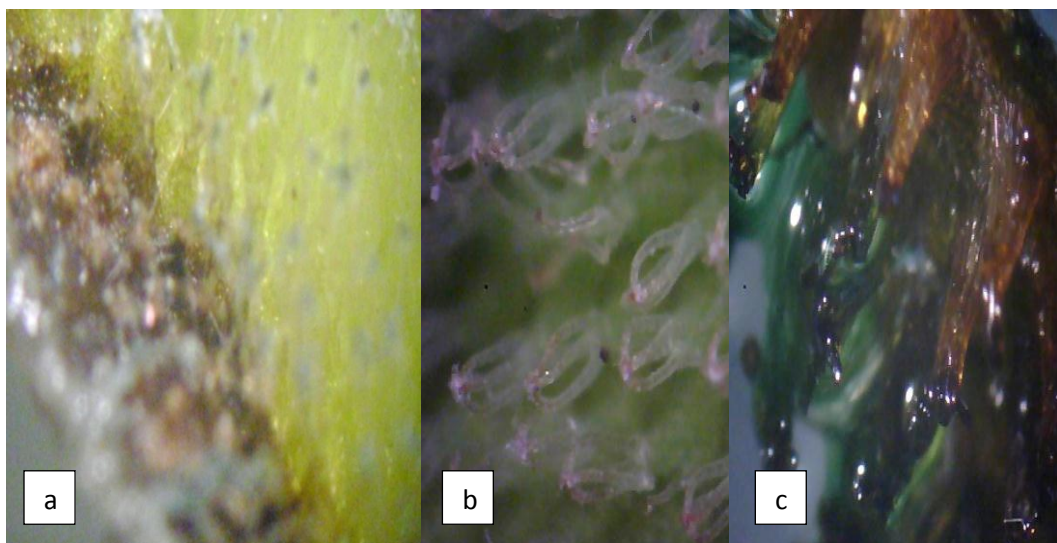
**Imagen F-18: Inicio de la fase de pre-selección de las 3 macrófitas de menor tamaño.**



**Imagen F-19: Inicio de la fase de pre-selección de las 2 macrófitas de mayor tamaño.**



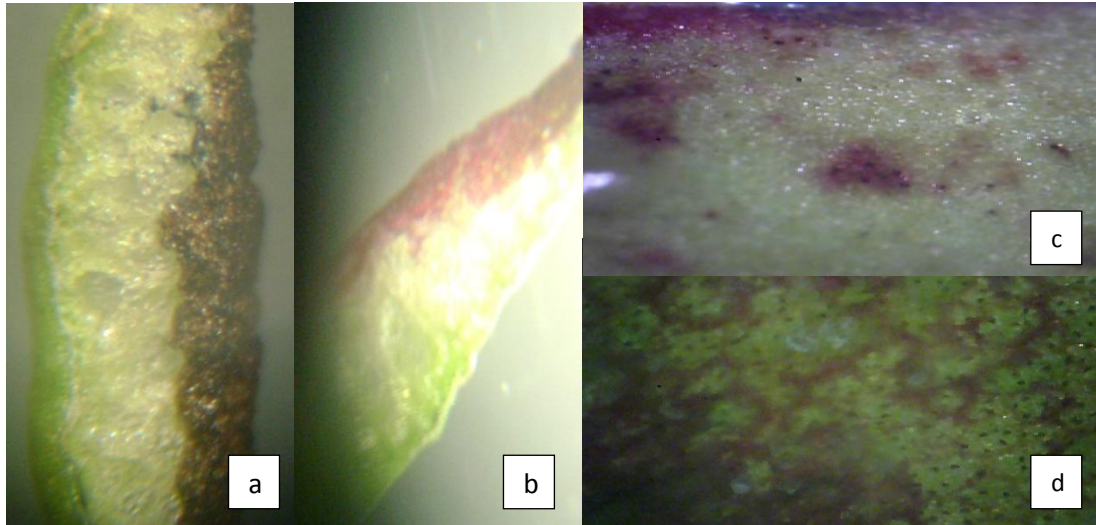
**Imagen F-20 Imagen en el estéreo microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual en la planta acuática flotante: salvinia (*Salvinia spp.*)**



a) Apariencia de la hoja con ligero daño, b) Tricoma de la hoja normal, c) Tricoma de la hoja dañada.

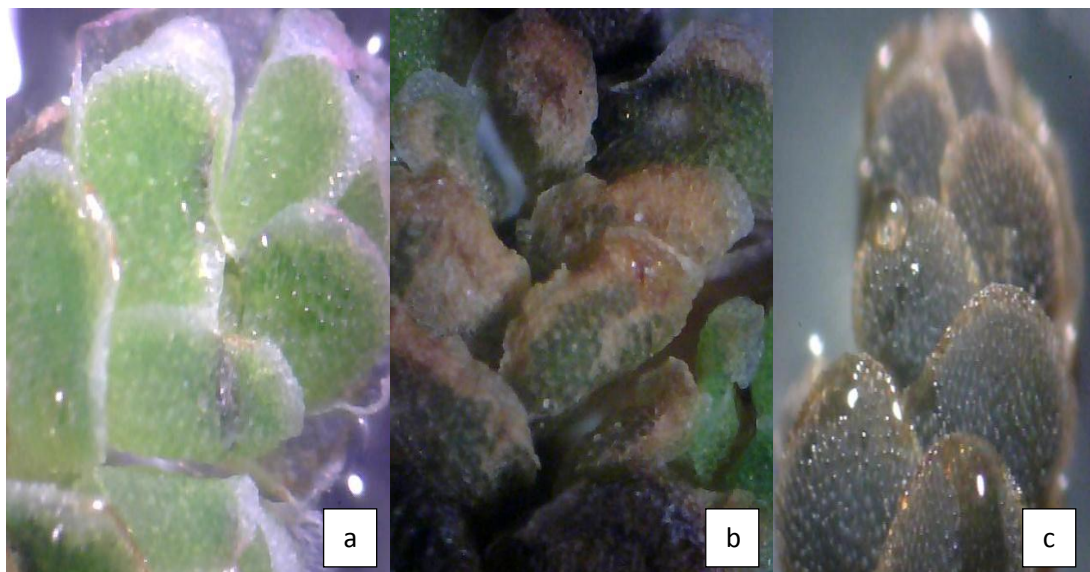


**Imagen F-21: Imagen en el estéreo microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual en la planta acuática flotante: lenteja de agua (*Lemna spp.*)**



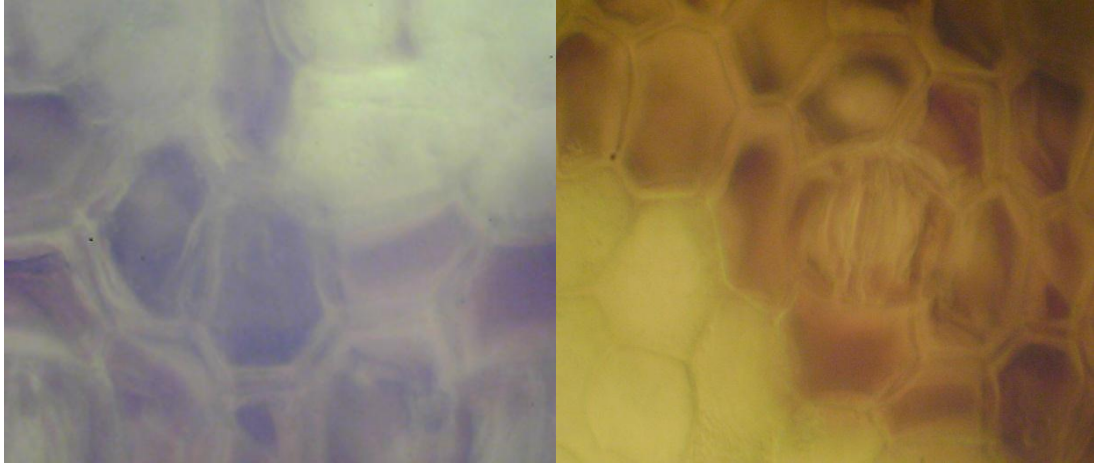
a) Corte transversal de la hoja dañada, b) Corte transversal de la hoja sin daño, c) Envés de la hoja sin daños, d) envés de la hoja dañada.

**Imagen F-22: Imagen en el estéreo microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual industrial en la planta acuática flotante: azolla (*azolla spp.*)**



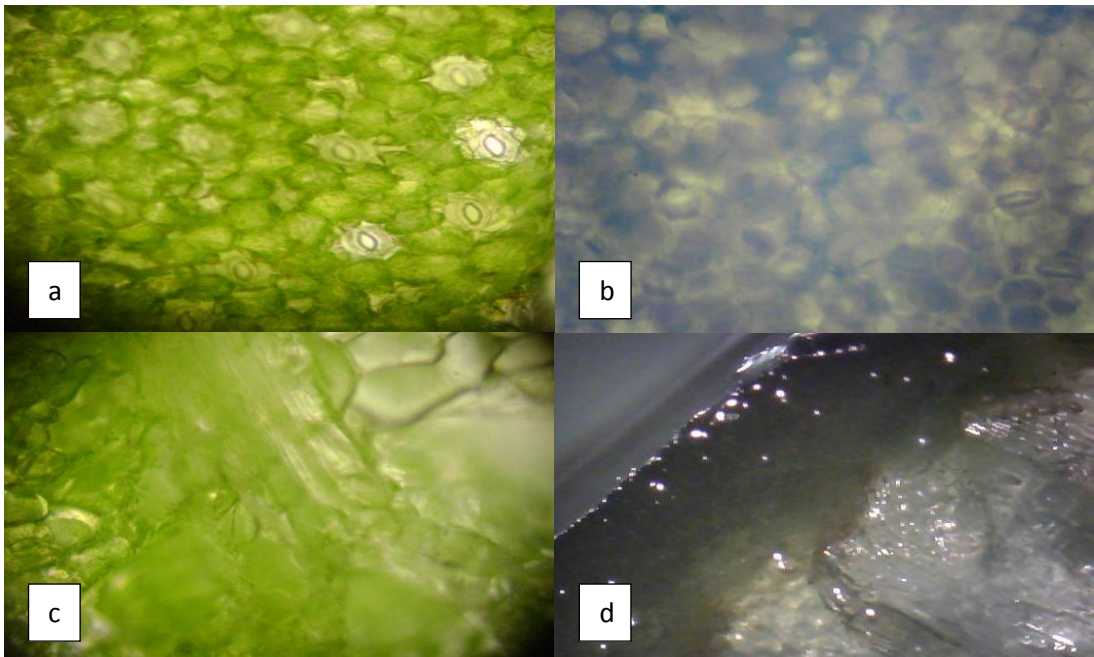
a) Apariencia normal de las hojas, b) Apariencia de las hojas a la 3 semana, c) Apariencia de las hojas completamente dañada

**Imagen F-23: Imagen en el microscopio de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual industrial en la planta acuática flotante: lechuguín (*Eichhornia crassipes*)**



Pared celular de la planta dañada visto en el microscopio (40X)

**Imagen F-24: Imagen de la estructura de la planta en la que más daño causó los contaminantes del agua residual industrial en la planta acuática flotante: trébol de agua (*Limnobium laevigatum*)**



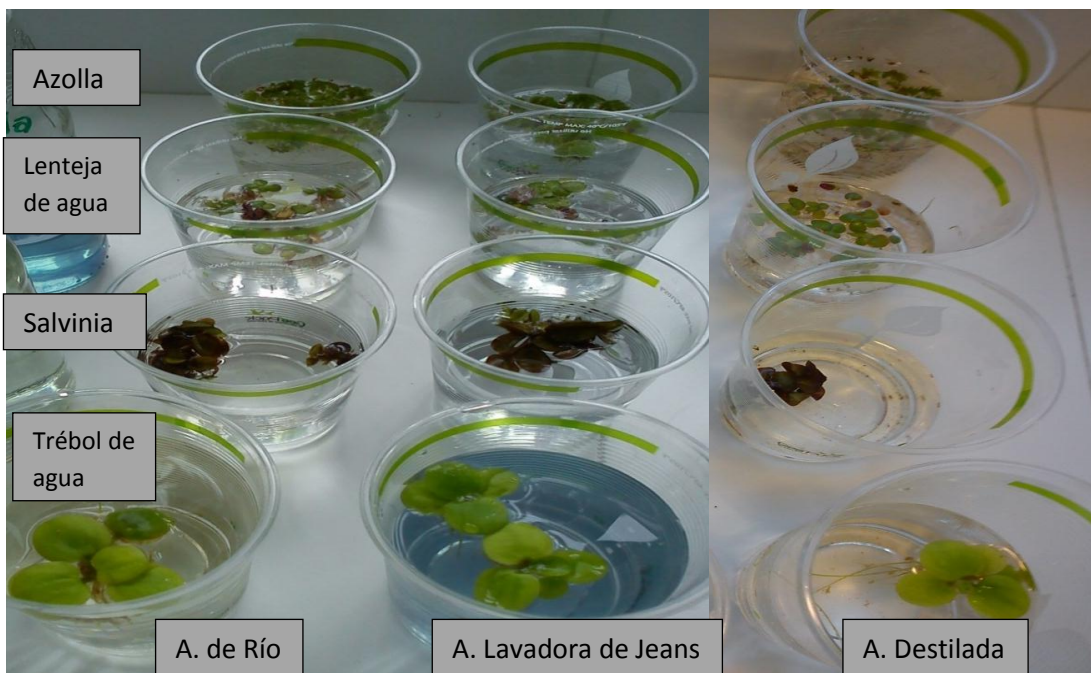
a) Pared celular normal de la planta vista en el microscopio (10X), b) Pared celular de la planta dañada vista en el microscopio (10X), c) Corte transversal de la hoja normal en el estéreo microscopio, d) corte transversal de la hoja dañada en el estéreo microscopio.

SEGUNDA FASE PROCESO DE pre-SELECCIÓN (Determinación de Peso seco y húmedo)

**Imagen F-25: Muestras de agua utilizadas en la segunda parte de la investigación**



**Imagen F-26: Inicio de la fase etapa de pre-selección**



**Imagen F-27: Apariencia de la planta acuática flotante Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) antes y después del proceso de secado**



**Imagen F-28: Apariencia de la planta acuática flotante trébol de agua (*Limnobium laevigatum*) antes y después del proceso de secado**



**Imagen F-29: Apariencia de la planta acuática flotante azolla (*Azolla* spp.) antes y después del proceso de secado.**



**Imagen F-30: Apariencia de la planta acuática flotante lenteja de agua (*Lemna* spp.) antes y después del proceso de secado.**



**Imagen F-31: Imagen F-30: Apariencia de la planta acuática flotante salvinia (*Salvinia spp.*) antes y después del proceso de secado.**



### PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN

**Imagen F-32: Estanques de fitorremediación con lenteja de agua (*Lemna spp.*) para el agua residual de uso agrícola (Río) a escala de laboratorio.**



**Imagen F-33: Estanques de fitorremediación con Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) para el agua residual de uso agrícola (Río) a escala de laboratorio.**



**Imagen F-34: Estanques de fitorremediación con lenteja de agua (*Lemna spp.*) para el agua residual industrial (Lavadora de Jeans) a escala de laboratorio**



**Imagen F-35: Estanques de fitorremediación con Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) para el agua residual industrial (Lavadora de Jeans) a escala de laboratorio**



ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

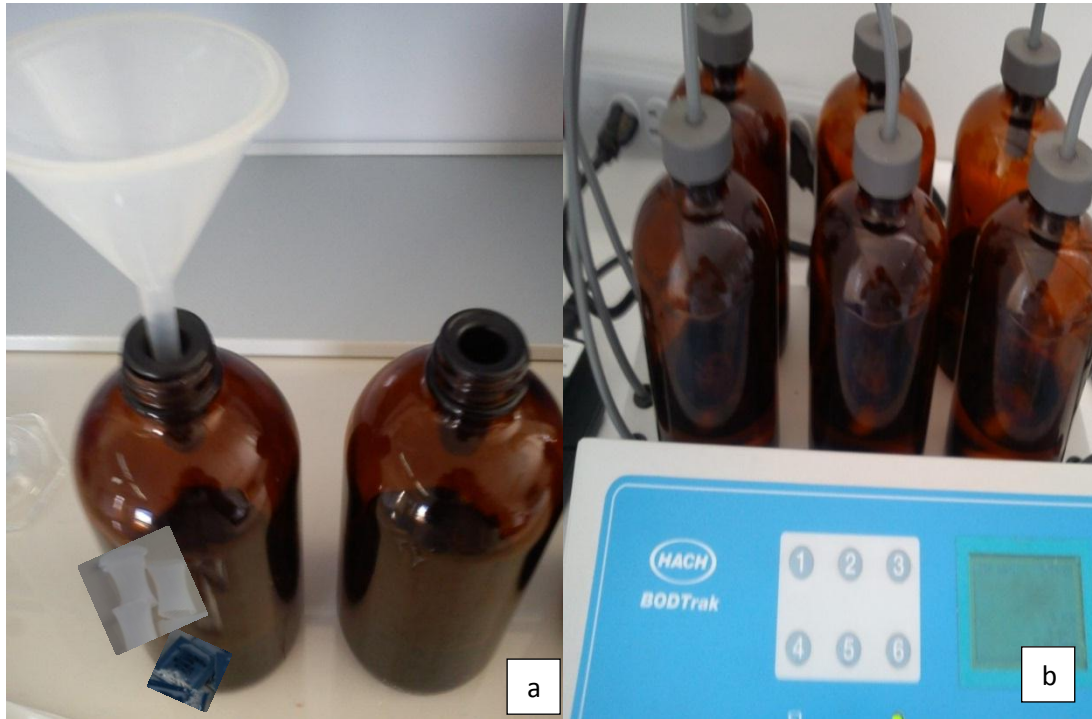
**Imagen F-36: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)**



a) Blanco y muestra en los tubos con el reactivo para DQO, b) Reactor para DQO c) Tubos listo para la medición en el espectrofotómetro.



**Imagen F-37: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**



a) materiales y reactivos usados para la determinación de DBO<sub>5</sub> (botella, embudo plástico, tapón, buffer nutritivo, hidróxido de litio) b) Equipo para DBO<sub>5</sub>

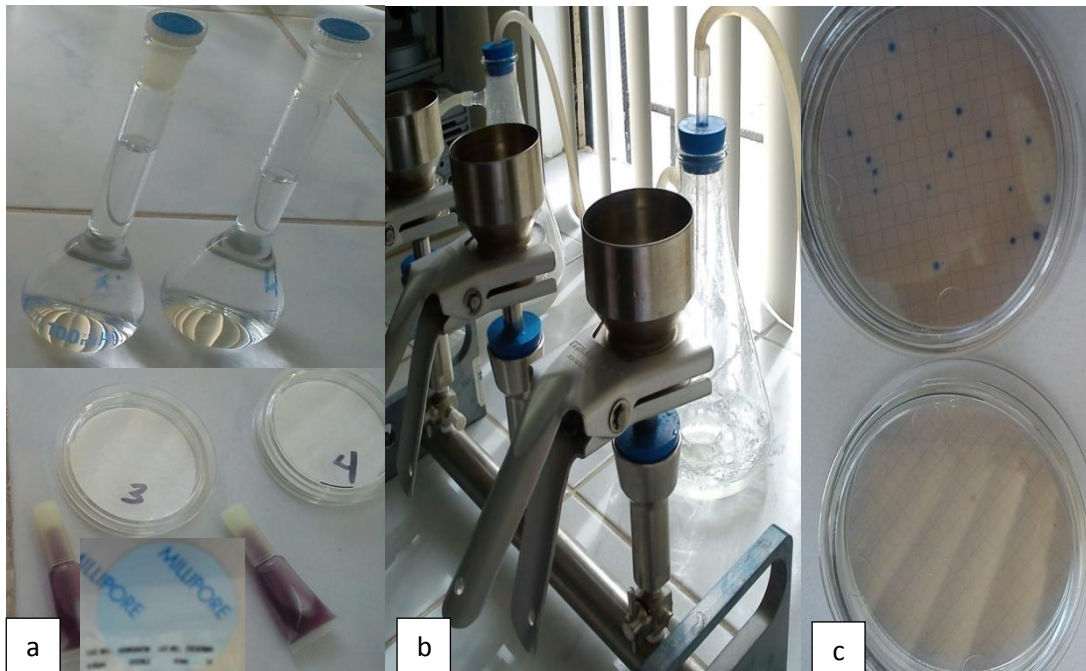
**Imagen F-38: Determinación de grasas y aceites**



a) Proceso de filtración y disolvente (Hexano), b) Extracción de la grasa y aceite de los trozos de papel filtro

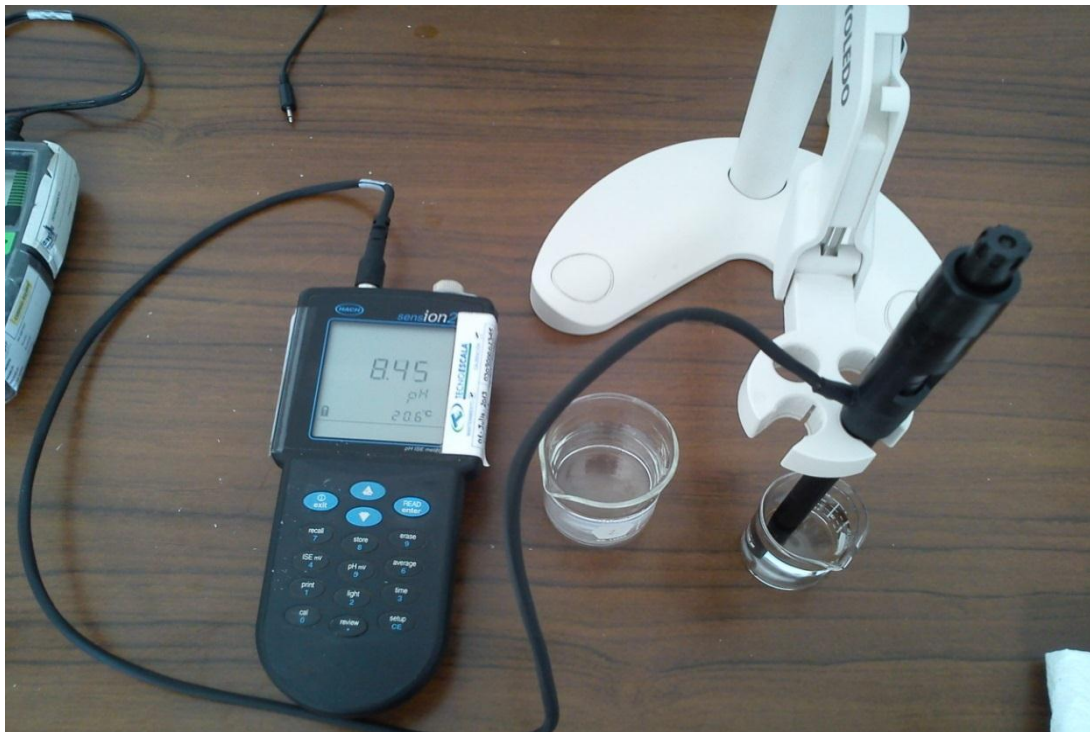


### Imagen F-41: Determinación de Coliformes fecales

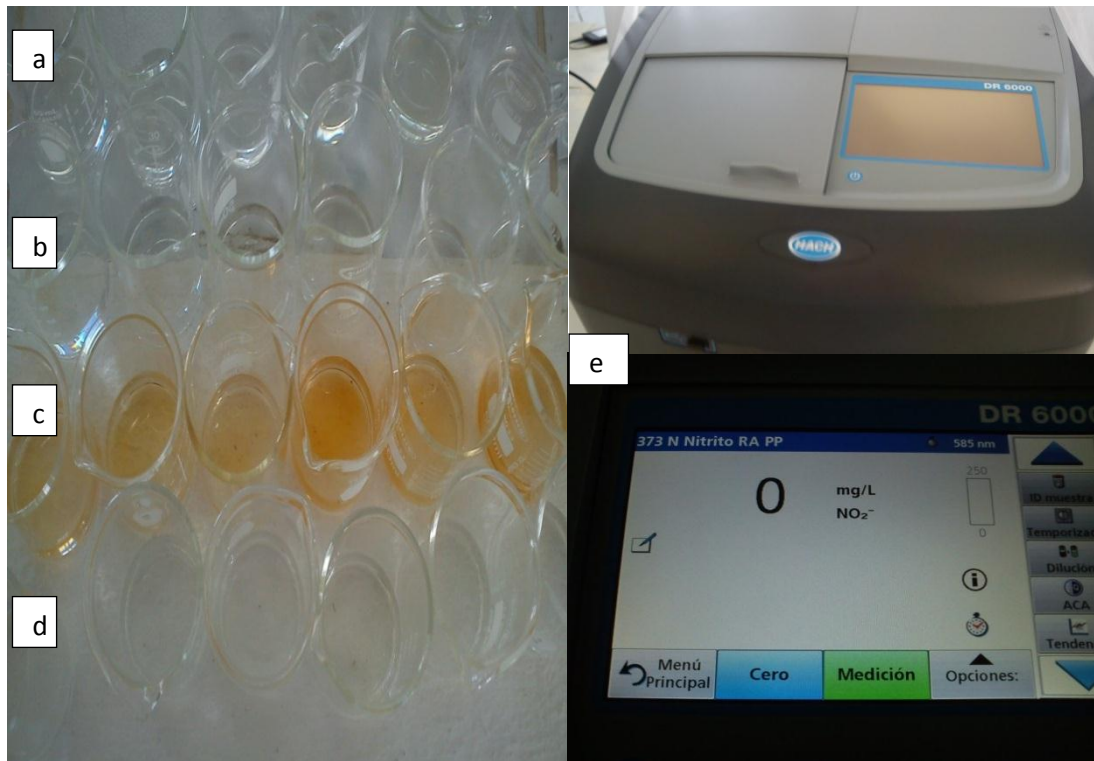


a) Materiales y reactivos utilizados, b) Sistema de filtración por membrana, c) Resultado del número total de coliformes fecales

### Imagen F-42: Determinación del pH



### Imagen F-43: Determinación del nitratos, nitritos, cloruros

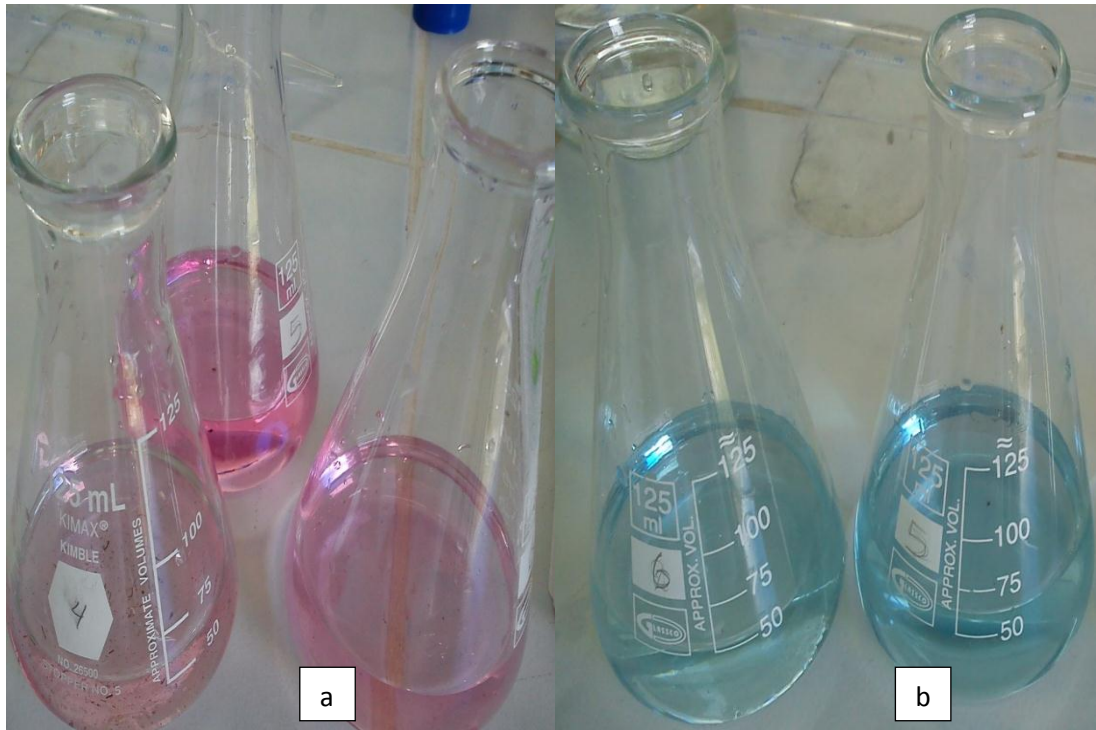


Muestras para la lectura en el espectrofotómetro a) blanco, b) nitratos, c) cloruros, d) nitritos. e) espectrofotómetro y su pantalla principal.

### Imagen F-44: Determinación de la alcalinidad



**Imagen F-45: Determinación de la dureza**



a) Resultado antes de la titulación b) Resultado después de la titulación (cambio de coloración)

**Imagen F-46: Laboratorio de aguas residuales de la EM-EMAPA-A**

