



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN

**“TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMBINADO CON FILTRACIÓN EN  
TAMICES MOLECULARES, DE AGUAS CONTAMINADAS CON  
HIDROCARBUROS, AFECTADAS POR EL DERRAME DE LA LÍNEA DE  
FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13, CANTÓN LAGO AGRIO, PROVINCIA  
DE SUCUMBÍOS, ECUADOR.”**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener  
el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación

**Dr. Miguel Ángel Gualoto**

**Viviana Yessenia Muñoz Sánchez**

**2010**

### **DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante Viviana Yessenia Muñoz Sánchez, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema y tomando en cuenta la Guía de Trabajos de Titulación correspondiente.”

---

Miguel Ángel Gualoto

Doctor

CI: 170742935-1

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

---

Viviana Yessenia Muñoz Sánchez

CI: 171929896-8

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por poner en mi camino personas que me han apoyado antes, durante y después de la elaboración de esta investigación.

A la Universidad de las Américas por acogerme en sus aulas y a través de sus catedráticos entregarme todos los conocimientos necesarios para poder desenvolverme en mi vida profesional.

A mi profesor guía Doctor Miguel Ángel Gualoto, quien con sus conocimientos contribuyó a dirigir y optimizar este documento.

A mi amiga y compañera Adriana Pinos, quien con su fortaleza y apoyo me acompañó durante los años universitarios y durante la etapa de elaboración de la tesis en la Amazonía.

Un reconocimiento especial al CTT-FICAYA de la Universidad Técnica del Norte auspiciante de la presente investigación, a todos los asesores y personal de campo que facilitaron la ejecución del proyecto.

Viviana Muñoz Sánchez

### **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mi madre por darme su apoyo incondicional durante todas las facetas de mi vida, convirtiéndose en el pilar fundamental de mi formación, tanto académica como humana.

A mi padre por la confianza que depositó en mí, y por enseñarme el valor de la responsabilidad, dedicación y constancia.

A mi hermana y toda mi familia por estar a mi lado brindándome su cariño y respaldo.

## RESUMEN

En la amazonía ecuatoriana la contaminación generada por la industria petrolera es un gran problema tanto ambiental como social, aún más es la falta de metodologías y tecnologías ambientalmente eficientes de tratamiento, que puedan garantizar la calidad y cantidad de agua para el normal desarrollo de los ecosistemas.

La presente investigación busca evaluar la eficiencia de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos; se valora el porcentaje de remoción de Sólidos Totales, Demanda Química de Oxígeno, Hidrocarburos Totales de Petróleo y metales pesados. El sistema es mixto, combina la capacidad de tres especies vegetales y dos tamices moleculares en la remoción de contaminantes, está compuesto de ocho celdas en donde el agua circula por inundación y transvase; en las siete primeras celdas se integraron organismos de la especie *Panicum máximum*, *Eleocharis elegans*, *Limnocharis flava*; en la octava celda se implantó un filtro especializado de zeolita y carbón activado; el diseño y construcción respetó al máximo el entorno, procurando causar el menor impacto ambiental posible. El humedal artificial recibe agua contaminada con petróleo, proveniente del proceso de lavado de suelos que se realiza en el lugar del derrame de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13. Los resultados indicaron que el sistema tiene porcentajes mayores al 90% en la remoción de sólidos, DQO y TPH, lo que demuestra que es una buena opción para el tratamiento este tipo de aguas. El agua tratada en el humedal artificial cumple con los límites establecidos en la legislación ambiental vigente en el Ecuador.

## ABSTRACT

In the Ecuadorian Amazon, the pollution generated by the oil industry is a big environmental and social problem; even more is the lack of methods and technologies that are environmentally efficient in treatment that can ensure the quality and quantity of water for the normal development of ecosystems.

This investigation evaluates the efficiency of artificial wetlands in the treatment of water that is contaminated with hydrocarbons, there is an evaluation of the percent removal of the Total Solids, Chemical Oxygen Demand, Total Petroleum Hydrocarbons and heavy metals. The system is mixed, it combines the ability of three plant species and two molecular sieves in the removal of pollutants, it is composed of eight cells in which water flows through flooding and transferring, in the first seven cells were integrated organisms of the species of *Panicum maximum*, *Eleocharis elegans*, *Limnocharis flava*, in the eighth cell was deployed a specialized zeolite filter and activated carbon, the design and construction respected the environment at the maximum, trying to cause the least possible environmental impact. The wetland receives water contaminated with oil that comes from the soil washing process that takes place in the release of the well flow line Shushuqui 13. The results indicated that the system has higher percentages around the 90% in the removal of solids, COD and TPH, which shows that it is a good choice for this type of water treatment. The treated water in the wetland meets the limits of the existing environmental legislation in Ecuador.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivo Específico.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.5. HIPÓTESIS.....	3
1.6. VARIABLES.....	4
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. CONTAMINACIÓN.....	5
2.1.1. CONTAMINANTE.....	5
2.1.2. CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.....	6
2.1.2.1. Capacidad de ser biodegradados.....	6
2.1.2.2. Polaridad.....	7
2.1.2.3. Solubilidad.....	7
2.1.2.4. Volatilidad.....	7
2.1.2.5. Toxicidad.....	7
2.1.3. CONTAMINANTES ACUÁTICOS.....	8
2.1.4. CONTAMINACIÓN HÍDRICA POR HIDROCARBUROS.....	10
2.1.5. COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LOS DERRAMES.....	11
2.1.5.1. Comportamiento del petróleo en el agua de mar.....	14
2.1.6. FACTORES QUE INCIDEN SOBRE LOS DERRAMES.....	18
2.1.7. PROCESOS DE DETOXIFICACIÓN NATURAL Y BIOTRANSFORMACIÓN EN EL AGUA.....	19
2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS.....	20
2.2.1. SISTEMAS BÁSICOS.....	20
2.2.2. PRETRATAMIENTO.....	21

2.2.2.1. Rejillas de desbaste.....	21
2.2.2.2. Canales de desarenado.....	22
2.2.2.3. Flotación.....	22
2.2.2.4. Homogeneización.....	23
2.2.3. TRATAMIENTO PRIMARIO–FÍSICO.....	24
2.2.3.1. Decantación primaria mejorada químicamente.....	25
2.2.3.2. Fangos de la decantación primaria.....	26
2.2.4. TRATAMIENTO SECUNDARIO – BIOLÓGICO.....	26
2.2.4.1. Los principios de la oxidación biológica.....	27
2.2.4.2. Sistemas de tratamiento secundarios.....	28
2.2.5. PROCESOS DE TRATAMIENTOS AVANZADOS.....	29
2.2.5.1. Filtración en medio granular.....	30
2.2.5.2. Adsorción con carbón activado.....	31
2.2.5.3. Tratamiento químico.....	32
2.2.5.4. Eliminación de amoníaco por lavado con aire.....	32
2.2.5.5. Procesos de membrana incluida ósmosis inversa.....	33
2.2.6. DIAGRAMAS DE FLUJO.....	34
2.3. TAMICES MOLECULARES.....	41
2.3.1. DEFINICIÓN.....	41
2.3.2. ISOTERMAS.....	41
2.3.2.1. Isoterma de adsorción de Freundlich.....	42
2.3.2.2. Isoterma de adsorción de Langmuir.....	42
2.3.3. TIPOS DE TAMICES.....	43
2.3.3.1. Zeolita.....	43
2.3.3.2. Carbón activado.....	44
2.3.4. APLICACIONES.....	46
2.3.4.1. Zeolita.....	46
2.3.4.2. Carbón activado.....	48
2.3.5. EXPERIENCIAS NACIONALES, REGIONALES O MUNDIALES.....	49
2.4. FITORREMEDIACIÓN.....	52
2.4.1. DEFINICIÓN.....	52

2.4.2. CARACTERÍSTICAS.....	53
2.4.3. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN.....	54
2.4.3.1. Fitoextracción.....	55
2.4.3.2. Rizofiltración.....	56
2.4.3.3. Fitotransformación.....	57
2.4.3.4. Fitoestimulación.....	59
2.4.3.5. Fitoestabilización.....	59
2.4.4. PLANTAS EMPLEADAS.....	61
2.4.4.1. Plantas acuáticas utilizadas en Humedales artificiales.....	61
2.4.4.2. Plantas Hiperacumuladoras de Metales Pesados.....	63
2.4.5. EXPERIENCIAS PRÁCTICAS.....	63
2.5. LOS HUMEDALES.....	65
2.5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HUMEDALES.....	65
2.5.1.1. Definiciones.....	66
2.5.1.2. Valor ponderal de los humedales.....	67
2.5.1.3. Tipos básicos de humedales naturales.....	68
2.5.2. HUMEDALES ARTIFICIALES.....	70
2.5.2.1. Características básicas de un Humedal Artificial.....	72
2.5.2.2. Tipos de Humedales Artificiales.....	72
2.5.2.3. Componentes del Humedal.....	75
2.5.2.4. Diseño básico de un Humedal Artificial.....	79
2.5.2.5. Implantación de vegetación en Humedales Artificiales.....	80
2.5.2.6. Experiencias prácticas.....	82
2.5.3. VEGETACIÓN DE LOS HUMEDALES.....	84
2.5.3.1. Plantas acuáticas.....	84
2.5.3.2. Desempeño de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento.....	87
2.6. MARCO LEGAL.....	87
2.7. NORMAS DE PERMISIBILIDAD.....	89
2.7.1. LÍMITES PERMISIBLES PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DE AGUAS.....	90

2.8. PARÁMETROS DE ANÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS.....	93
2.8.1. PARÁMETROS FÍSICOS.....	93
2.8.2. PARÁMETROS QUÍMICOS.....	94
2.8.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS.....	94
2.8.4. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.....	95
2.8.4.1. pH.....	95
2.8.4.2. Conductividad eléctrica (CE).....	95
2.8.4.3. Sólidos Totales (ST).....	96
2.8.4.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	96
2.8.4.5. Hidrocarburos Totales de Petróleo.....	97
2.8.4.6. Metales Pesados.....	98
3. CAPITULO III.....	101
3.1. LÍNEA BASE (DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL).....	101
3.2. UBICACIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA Y CARTOGRÁFICA.....	103
3.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.....	104
3.4. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO.....	105
3.4.1. Geología local.....	105
3.4.1.1. Depósitos aluviales.....	105
3.4.1.2. Depósitos Coluviales.....	106
3.4.1.3. Arcillas.....	106
3.4.1.4. Areniscas.....	106
3.4.2. Geomorfología Local.....	106
3.4.3. Climatología.....	107
3.4.4. Hidrología.....	107
3.4.5. Paisaje.....	108
3.5. EVALUACIÓN DEL COMPONENTE ABIÓTICO.....	109
3.5.1. Calidad de Agua.....	109
3.5.2. Calidad de Suelos.....	109
3.5.3. Calidad de Sedimentos.....	110
3.6. DESCRIPCIÓN DE FLORA Y FAUNA.....	110

3.6.1. Flora.....	110
3.6.1.1. Ecosistemas Presentes y Unidades de Cobertura Vegetal.....	112
3.6.1.2. Aspectos Florísticos y Ecológicos.....	112
3.6.1.3. Especies en Peligro o Vulnerables.....	113
3.6.2. Fauna.....	113
3.6.2.1. Avifauna.....	113
3.6.2.2. Mastofauna.....	114
3.6.2.3. Peces, Reptiles y Anfibios.....	114
3.7. SITUACIÓN SOCIO AMBIENTAL DEL CAMPO.....	115
3.7.1. Tenencia de la Tierra y Organización Social.....	115
3.7.2. Salud.....	118
3.7.3. Educación.....	118
3.7.4. Vivienda.....	119
3.8. MAPAS DE MUESTREO Y DISTRIBUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.....	119
3.8.1. Muestreo de Suelos.....	119
3.8.2. Muestreo de Sedimentos.....	120
3.8.3. Muestreo de Aguas.....	121
3.8.4. Distribución de la contaminación.....	122
3.8.4.1. Superficie Afectada.....	122
3.8.4.2. Pluma de Contaminación.....	122
3.8.4.3. Volumen de Sustratos a Tratar.....	124
3.9. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE MUESTRA DE LABORATORIO.....	124
3.9.1. Análisis de resultados de suelos.....	124
3.9.2. Análisis de resultados de sedimentos.....	126
3.10. ESQUEMA DE LA PROPUESTA DE REMEDIACIÓN.....	126
4. CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	128
4.1. INTRODUCCIÓN.....	128
4.2. MATERIALES.....	130

4.3. EQUIPOS.....	134
4.4. MÉTODOS.....	134
4.4.1. DISEÑO.....	134
4.4.1.1. Modelo de flujo de agua.....	137
4.4.1.2. Distribución de los tamices moleculares en cada celda.....	138
4.4.1.3. Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas...	141
4.4.1.4. Taxonomía y características morfológicas de <i>Panicum</i> <i>máximum</i> .....	141
4.4.1.5. Taxonomía y características morfológicas de <i>Eleocharis</i> <i>elegans</i> .....	143
4.4.1.6. Taxonomía y características morfológicas de <i>Limnocharis</i> <i>flava</i> .....	144
4.4.1.7. Distribución de especies acuáticas en el Humedal Artificial.....	146
4.4.2. CÁLCULOS EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	147
4.4.2.1. Cálculo del caudal de agua en el Humedal Artificial.....	148
4.4.2.2. Dimensionamiento del Humedal Artificial.....	149
4.4.3. CONSTRUCCIÓN.....	150
4.4.3.1. Trabajos preparatorios.....	150
4.4.3.2. Cimentación e impermeabilización.....	152
4.4.3.3. Llenado del sistema con materiales filtrantes.....	155
4.4.3.4. Implantación de especies acuáticas en el Humedal Artificial.....	157
4.4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	159
4.4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	159
4.4.6. TRATAMIENTO.....	161
4.5. PLAN DE MUESTREO.....	162
4.5.1. COLECTA DE MUESTRAS.....	164
4.5.2. CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.....	165
4.5.3. ENVÍO DE MUESTRAS.....	167
4.5.4. ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	167
4.6. CONTROL DE PARÁMETROS.....	168

5. CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	173
5.1. Diseño y construcción de un sistema físico-biológico experimental de tratamiento de aguas.....	173
5.2. Emplear especies vegetales idóneas para el tratamiento biológico de aguas contaminadas con hidrocarburos.....	174
5.3. Utilización de tamices moleculares.....	175
5.4. Evaluación de la eficiencia del Humedal Artificial en la remoción de contaminantes.....	176
5.4.1. pH.....	176
5.4.2. Conductividad Eléctrica (CE).....	177
5.4.3. Sólidos Totales (ST).....	178
5.4.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	179
5.4.5. Hidrocarburos Totales (TPH).....	181
5.4.6. Metales pesados.....	182
5.5. Determinación de los parámetros cinéticos del sistema de tratamiento.....	184
5.5.1. Tasa de biodegradación de TPHs.....	184
5.5.2. Tiempo de degradación.....	186
6. CAPITULO VI: COSTOS Y BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	187
6.1. COSTOS.....	187
6.1.1. Costo del metro cúbico (m <sup>3</sup> ) de agua tratada.....	191
6.2. BENEFICIOS.....	192
7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	194
7.1. CONCLUSIONES.....	194
7.2. RECOMENDACIONES.....	196
8. BIBLIOGRAFÍA.....	198
9. ANEXOS.....	203

# **1.CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

## **1.1. ANTECEDENTES**

El bloque petrolero Shushuqui pertenece al campo Libertador, el cual fue descubierto en la década de los 80, su primera perforación se inició el 31 de enero de 1980 y es desde entonces operado por la compañía estatal CEPE, hoy Petroproducción, filial de Petroecuador. El campo Libertador tiene un total de 95 pozos perforados, las reservas totales del campo ascienden a 440.227.136 BLS N, la calidad de crudo corresponde a 29 ° API.

La empresa estatal utilizó en sus operaciones la misma tecnología que aprendió de Texaco mientras operaron en consorcio, es decir una tecnología barata y obsoleta que ha provocado un grave impacto ambiental al ecosistema amazónico y un fuerte impacto social a la población allí asentada.

A lo largo del tiempo que lleva funcionando este campo de explotación petrolera, se han registrado algunos hechos negativos como la ruptura deliberada de oleoductos y derrames operativos a lo largo de los ductos y en las inmediaciones a los pozos del Bloque. Estos derrames han sido limpiados deficientemente y su remediación careció de parámetros metodológicos y normativas debido a la falta de una ley ambiental nacional, la misma que se aprobó en el año 2000, luego de 25 años de reposar en el congreso nacional en espera de su discusión y análisis.

En la actualidad estos trabajos mal ejecutados de remediación, se evidencian por la contaminación de riveras, presencia masiva de fosas de crudo, pantanos y esteros saturados, suelos de uso agrícola cubiertos por capas de hidrocarburos y fuentes de agua para usos agrícolas y consumo humano gravemente afectadas.

Al efecto de estos problemas se ha propuesto una Investigación Tecnológica Aplicada, dentro de la cual se enmarca la investigación de

Tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos, cuyos resultados podrían ser aplicados a todo el campo, y contribuirán a la rehabilitación de amplios espacios y fuentes hídricas degradadas por la actividad hidrocarburífera en el Distrito Amazónico.

La investigación se efectuó en los predios de la Sra. María Lara. Lugar en donde en el año 2002 ocurrió un derrame, debido a la ruptura de la línea de flujo del pozo petrolero Shushuqui 13, ubicado en la Comunidad Shushuqui, parroquia Pacayacu, cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Efectuar un tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos, mediante un sistema Biológico de fitorremediación, combinado con filtración en tamices moleculares, para reducir los contaminantes presentes en el agua del pantano afectado por el derrame ocurrido en la línea de flujo Shushuqui 13.

### **1.2.2. Objetivos Específicos:**

- Diseñar un sistema físico-biológico experimental de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. (Humedal Artificial)
- Construir un Humedal Artificial para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos.
- Emplear especies vegetales idóneas para el tratamiento biológico de aguas contaminadas con hidrocarburos.
- Utilizar tamices moleculares idóneos para la captación de metales pesados y el retiro de capa iridiscente de hidrocarburos.
- Evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes del Humedal Artificial construido.

- Determinar los parámetros cinéticos del sistema de tratamiento.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La calidad de las fuentes de agua para uso agrícola, ganadero y consumo humano del distrito amazónico, específicamente del Pozo Shushuqui 13, está en franco deterioro, lo que genera problemas de salud en la población, pérdidas en las actividades productivas, muerte y desaparición de especies, que en conjunto provocan el deterioro de los ecosistemas locales; a consecuencia de los constantes derrames de hidrocarburos producidos a lo largo de 30 años de actividades productivas del campo, además de la falta de tecnologías ambientalmente eficientes de tratamiento para la recuperación de fuentes hídricas contaminadas.

### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se puede considerar eficiente el empleo de humedales artificiales y tamices moleculares para la remoción de contaminantes en el agua procedente del lavado de un pantano afectado por el derrame ocurrido en la línea de flujo Shushuqui 13?

### **1.5. HIPÓTESIS**

#### **1.5.1. Hipótesis de investigación (H1)**

El tratamiento biológico combinado con filtración en tamices moleculares de aguas contaminadas con hidrocarburos, permitirá una disminución de los niveles de contaminación presentes en el agua.

### **1.5.2. Hipótesis nula (H0)**

El tratamiento biológico combinado con filtración en tamices moleculares de aguas contaminadas con hidrocarburos, no permitirá una disminución de los niveles de contaminación presentes en el agua.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variable independiente**

El tratamiento biológico combinado con filtración en tamices moleculares de aguas contaminadas.

### **1.6.2. Variable dependiente**

Niveles de contaminación presentes en el agua.

En el presente estudio los niveles de contaminación se miden en relación a los siguientes parámetros, que serán las variables dependientes a evaluarse.

- Potencial Hidrogeno (pH)
- Conductividad Eléctrica (CE)
- Hidrocarburos Totales (TPH)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Totales (ST)
- Bario (Ba)
- Cromo (Cr)
- Plomo (Pb)
- Vanadio (V)

## 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. CONTAMINACIÓN

La Contaminación en general es la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas.

El movimiento de contaminantes y componentes tóxicos a través del medio es muy similar al movimiento de energía y nutrientes por el ecosistema y a mayor escala por la biosfera. Estos productos químicos conocidos habitualmente como contaminantes, pueden producir daño a los seres vivos y al ambiente. El estudio del contaminante a través del medio se conoce como Ecotoxicología.

#### 2.1.1. CONTAMINANTE

Un contaminante se define como “una sustancia que aparece en el ambiente, al menos en parte, como resultado de las actividades humanas, y que tienen un efecto nocivo por el entorno” (Moriarty et al., 1990). Actualmente los contaminantes son parte de nuestro entorno como resultado de la industria y de otras actividades. Se estima que hay unos 63.000 productos químicos en uso hoy en día (Maugh et al., 1978) y cada año hay muchos cientos en desarrollo. El término “contaminante” es un término amplio y se refiere a una gama de compuestos, desde una superabundancia de nutrientes que dan lugar a un enriquecimiento del ecosistema a compuestos tóxicos que pueden ser carcinógenos<sup>1</sup>, mutágenos<sup>2</sup> o teratogénicos<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Causantes de cáncer.

<sup>2</sup> Causan daño a los genes.

<sup>3</sup> Compuestos que causan anomalías a los embriones en desarrollo.

### **2.1.2. CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES**

Los contaminantes orgánicos que se encuentran en los terrenos pueden ser clasificados como de origen natural o antropogénico. Los compuestos orgánicos de origen natural, que resultan de la descomposición de tejidos de plantas y animales, y se denominan materias húmicas, constituyen los componentes habituales de los suelos y aguas subterráneas. Las materias húmicas poseen una estructura compleja y son resistentes a transformaciones biológicas adicionales. Los suelos generalmente contienen menos del 3 por 100 de materias húmicas en peso y las aguas subterráneas normalmente contienen menos de 5 mg/l de materias húmicas totales.

Los compuestos orgánicos de origen antropogénico varían ampliamente según sus características; de especial importancia son su capacidad para ser biodegradados, polaridad, solubilidad, volatilidad y toxicidad. (Kiely et al., 1999).

#### **2.1.2.1. Capacidad de ser biodegradados**

Los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables y que no son tóxicos para microorganismos, son oxidados muy rápidamente por los microorganismos del suelo. Los principales problemas en la recuperación de terrenos contaminados con compuestos susceptibles de ser degradados son:

- Proporcionar los nutrientes inorgánicos necesarios para el crecimiento microbiano,
- Hacer las tasas de biodegradación y de aplicación coincidan
- Evitar el atascamiento de los poros del terreno debido a un crecimiento microbiano excesivo.

Los terrenos y las aguas subterráneas contaminados con compuestos resistentes a transformaciones biológicas son difícilmente recuperables.

### **2.1.2.2. Polaridad**

Los compuestos apolares suelen ser hidrófugos y tienden a concentrarse (partición) en la materia orgánica que se encuentra en el terreno. Como consecuencia, los compuestos apolares tienen menos movilidad en el terreno y en aguas subterráneas, y la difusión de compuestos apolares en acuíferos es normalmente más lenta que la de compuestos polares. En la práctica, el tiempo necesario para que unos compuestos apolares se desplacen del foco de contaminación hasta los pozos que pudieran existir en las proximidades, será mayor que en el caso de compuestos polares.

### **2.1.2.3. Solubilidad**

La solubilidad tiene un significado similar al de la polaridad, aunque está más directamente relacionado con la disponibilidad potencial de compuestos en la fase líquida. Los microorganismos, principalmente bacterias y hongos, llevan a cabo la biorrecuperación, por lo que los contaminantes deben estar disueltos para que se produzca el proceso de transformación.

### **2.1.2.4. Volatilidad**

Los compuestos volátiles suelen difundirse hacia la fase vapor y pueden ser eliminados del terreno y de las aguas subterráneas por arrastre con aire. El vapor contaminado puede entonces ser tratado en la superficie. Los compuestos volátiles tienen normalmente bastante movilidad en terrenos no saturados, y las emisiones de los mismos desde el terreno pueden constituir un peligro en el emplazamiento del foco contaminante o durante la excavación.

### **2.1.2.5. Toxicidad**

El factor clave que lleva a la necesidad de recuperar terrenos y aguas subterráneas contaminadas es la toxicidad en humanos. La

eliminación o vertido de productos químicos tóxicos en terrenos constituye un difícil problema debido a que:

- Las materias tóxicas a menudo son resistentes a la biodegradación
- Una vez los compuestos se encuentran en el terreno, existe un menor control sobre el transporte de los mismos y los procesos que sufren
- El peligro que corren los abastecimientos de agua es muy alto, ya que los límites de concentración máxima (MCL) de productos tóxicos en aguas destinadas al abastecimiento son normalmente extremadamente bajos.

El vertido de residuos no tóxicos en suelos permanece como una opción de eliminación viable. Los sistemas fosa séptica – infiltración en terreno son utilizados por más de veinte millones de personas en los Estados Unidos, los residuos de la agricultura suelen emplearse como fertilizantes y el método de tratamiento en lechos se emplea habitualmente tanto en la agricultura como en la industria. La contaminación de las aguas subterráneas constituye una preocupación siempre que se utiliza el tratamiento en lechos, principalmente debido a los nitratos y a otros iones inorgánicos. (Eweis, Ergar, Chang, Schroeder et al., 1999)

### **2.1.3. CONTAMINANTES ACUÁTICOS**

Se establecen dos tipos principales:

- Aquellos que afectan al medio físico
- Aquellos que son directamente tóxicos para los organismos.

Se han censado 1500 sustancias contaminantes en sistemas acuáticos. Algunos de los compuestos interactúan por adición, antagonismo o sinergia, y provocan respuestas diferentes en los sistemas acuáticos; La

influencia de las sustancias contaminantes en aguas naturales variará de acuerdo con el contaminante, las condiciones locales y los organismos afectados.

El cuadro 2.1., muestra una clasificación de contaminantes acuáticos en relación a su degradabilidad.

**Cuadro 2.1.** Clasificación de contaminantes acuáticos según el grado de biodegradabilidad.

DEGRADABLES	NO DEGRADABLES
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aguas residuales y estiércol de ganado.</li> <li>-Fertilizantes agrícolas y nutrientes de vegetales.</li> <li>-Residuos de procesamiento de alimentos (Fabricas de cerveza).</li> <li>-Residuos orgánicos de papeleras.</li> <li>-Residuos industriales (petroquímicos).</li> <li>-Petróleo y derivados.</li> <li>-Aniones de sulfuro y sulfito.</li> <li>-Detergentes.</li> <li>-Dispersantes de petróleo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Partículas inertes (Arcilla, residuos de minería, etc.).</li> <li>-Plásticos fabricados por el hombre.</li> <li>-Metales pesados (cromo, cobre, plomo).</li> <li>-Hidrocarburos halogenados (DDT, PCB).</li> <li>-Radioactividad</li> <li>-Ácidos y álcalis.</li> <li>-Emisiones de gases industriales.</li> <li>-Organofosfatos</li> </ul>

**Fuente:** Mason et al., 1991.

Los contaminantes pueden actuar al menos de tres maneras diferentes:

- Se establecen y provocan la muerte de organismos vivos, como los efluentes de minas, aguas residuales apenas tratadas y sus sedimentos.
- Resultan muy tóxicos y matan directamente a otros organismos, como los efluentes industriales y metales pesados en concentraciones relativamente elevadas.

- Influyen indirectamente en los organismos, mediante la reducción del abastecimiento de oxígeno, la adición de fertilizantes, o los efectos subletales de compuestos que actúan sobre el crecimiento, la reproducción, etc.

#### 2.1.4. CONTAMINACIÓN HÍDRICA POR HIDROCARBUROS

La contaminación por petróleo se produce por su liberación accidental o intencionada en el ambiente, provocando efectos adversos sobre el hombre o sobre el medio, directa o indirectamente.

La contaminación involucra todas las operaciones relacionadas con la explotación y transporte de hidrocarburos, que conducen inevitablemente al deterioro gradual del ambiente. Afecta en forma directa al suelo, agua, aire, a la fauna y la flora.

El efecto sobre las aguas superficiales es que el vertido de petróleo o sus derivados producen disminución del contenido de oxígeno, aporte de sólidos y de sustancias orgánicas e inorgánicas.

En el caso de las aguas subterráneas, el mayor deterioro se manifiesta en un aumento de la salinidad, por contaminación de las napas<sup>4</sup> con el **agua de formación**<sup>5</sup> de alto contenido salino, en especial metales pesados.

El sector hidrocarburífero produce contaminación de los recursos hídricos en cuatro fases en que se desarrolla la actividad del sector: la extracción productiva y prospectiva, la transportación a través del oleoducto, la refinación en las plantas especializadas para el efecto y la comercialización. Un análisis de este problema está incluido dentro del estudio denominado “Diagnóstico y Plan de Manejo Ambiental del Programa de Control de la Contaminación del Sector Hidrocarburífero”,

---

<sup>4</sup> Capa de agua en la superficie de la tierra, o subterránea.

<sup>5</sup> Asociada con el petróleo existente en los yacimientos y sale a la superficie junto con el gas y el petróleo; contiene metales pesados, altos niveles de sales y fracciones de crudo en emulsión o dilución.

realizado por la Dirección Nacional de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas.

En cuanto a la extracción se ha establecido que en pocos pozos se utilizan técnicas modernas de separación del crudo y el agua salina y la posterior inyección de esta en los yacimientos (las técnicas que actualmente se emplean son las mismas que se usaban hace 40 años), así, frecuentemente el agua salina se descarga en piscinas que no evitan su disposición final en las cursos de agua o en acuífero, además de pérdidas de crudo por accidente o maniobras incorrectas.

Los oleoductos registran problemas relativamente frecuentes por derrames de crudo, debido a sus infraestructuras vulnerables a los riesgos naturales del país, sismos y deslaves principalmente. Por su recorrido de más de 500 km, el sistema de construcción aérea y la complejidad de los bombeos para atravesar los Andes, el SOTE es el que provoca a menudo episodios contaminantes de este tipo.

La actividad de explotación del petróleo en áreas naturales frágiles e intangibles de la Amazonía ecuatoriana contribuye también a la contaminación de las aguas que trasciende extraterritorialmente. (AEISA, 2009)

#### **2.1.5. COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LOS DERRAMES**

El petróleo es un producto natural que se obtiene de restos de plantas fosilizadas durante millones de años en un medio marino; por esta razón, no es sorprendente que sus componentes sean fácilmente biodegradables tras la acción de bacterias, aunque cada uno de ellos se degrade a un ritmo diferente; el alquitrán es uno de los que más tardan. La parte inmisible forma una emulsión que recuerda una capa de aceite sobre agua, recibe el nombre de “mouse de chocolate”, contiene 75% de

agua y constituye un grave problema cuando alcanza playas turísticas y causa la aparición de masa paradas pegajosas en la zona costera.

Cuando se produce un derrame petrolero en el mar en algunos casos se adicionan dispersantes para controlar el problema; los daños ocasionados a las playas fueron causados por el uso de estos productos más que por los efectos directos del petróleo. Los animales más afectados fueron los animales herbívoros; y la desaparición de estos favoreció a la rápida multiplicación de algas verdes y pardas, lo que altero la imagen de la costa.

Los dispersantes antes utilizados eran muy tóxicos en relación a los que actualmente se usan, estos dispersantes descomponen el petróleo en partículas muy pequeñas, por lo que, al aumentar la proporción superficie-volumen, las bacterias pueden degradar el petróleo muy rápidamente. (KIELY et al., 1999)

Las consecuencias de la contaminación petrolera para el ambiente están todavía en curso de estudio e investigación. Los efectos sobre la fauna y la flora son los más perjudiciales, pues a menudo son irreversibles.

Se puede sintetizar el resultado de una contaminación por sus dos principales efectos:

**a. Efectos mecánicos:**

La existencia de una película en la interfaz agua-aire tiene por consecuencia la perturbación de los intercambios gaseosos, lo que provoca una disminución del proceso de auto depuración por la disminución de la capacidad de re-oxigenación del medio.

Se crea una capa de unos pocos micrones de espesor lo que imposibilita la interacción entre la flora y la fauna marina con la atmósfera, obstruyendo así el ciclo natural de vida.

Esta película puede tener acciones directas de orden mecánico que son particularmente apreciables en las aves. Un ave "empetroado"

pierde su capacidad de flotación y su aislamiento térmico; reduce también la incubación.

Los animales protegidos por conchillas tienen cierto grado de protección, aunque los gasterópodos experimentan una mortandad importante.

Más grave aún, es la destrucción de los individuos planctónicos, primer eslabón en la cadena alimenticia de la fauna marina, que puede resultar en modificación notable de todo el ecosistema local.

#### **b. Efectos tóxicos:**

La penetración de los componentes tóxicos del petróleo puede traer como consecuencia la inhibición del metabolismo, acumulación de tóxicos a nivel de la membrana celular provocando la inhibición de los intercambios entre la célula y el mundo exterior; modificación de las propiedades físicas del medio tales como la tensión superficial, el pH, la temperatura, el potencial de óxido reducción; la precipitación de elementos minerales (nitrógeno, fósforo, hormonas, oligo-elementos, vitaminas, etc.) Indispensables para la vida de los microorganismos y plancton.

Los productos utilizados para combatir la contaminación pueden también y a su vez representar un peligro por sus efectos tóxicos. Cabe señalar que los agentes contaminantes en caso de derrame no son solamente los hidrocarburos, sino también los productos orgánicos que provienen de su transformación y los compuestos minerales u orgánicos adicionados al medio receptor durante la lucha contra la contaminación, (existen, sin embargo y a la fecha, productos sintéticos inocuos que pueden dispersar el petróleo, o agentes de "solidificación" de petróleo que resuelven y controlan rápidamente gran parte de la contaminación, cuya toxicidad no se ha detectado hasta el presente).

Independientemente de los síntomas evidentes (color, olor, sabor), el medio experimenta efectos que perturban su equilibrio; el más visible es una desoxigenación del medio receptor debido al consumo de oxígeno por parte de los microorganismos que crecen y se multiplican utilizando como alimentos las materias orgánicas biodegradables. Por otra parte, las transformaciones físicas y químicas en el medio tienen una acción directa sobre los otros seres vivos.

Existen tres criterios generalmente aceptados para determinar la contaminación del agua:

- Materia en suspensión (MES).
- Demanda biológica de oxígeno (DBO).
- Demanda química de oxígeno (DQO).

#### **2.1.5.1. Comportamiento del petróleo en el agua de mar**

El comportamiento del petróleo en el mar varía según su composición, características y temperatura del agua.

El espesor de la capa aceitosa puede ser de unos centímetros hasta varios centímetros; además el tiempo de residencia, es decir el tiempo durante el cual el petróleo es detectable depende también de varios factores y/o del tipo de método que se emplea para su detección.

La degradación del petróleo y la velocidad de su degradación está influenciada por:

- Luz
- Temperatura
- Tipo y número de sustancias nutrientes e inorgánicas que contiene
- Vientos, mareas, corrientes, etc.

Estos factores afectan a la degradación microbiana, la evaporación,

la disolución, la dispersión y los procesos de sedimentación. Las fracciones más tóxicas son generalmente las menos susceptibles a la degradación microbiana. Los residuos densos pueden flotar, depositarse en los sedimentos o llegar a la costa como manchas de alquitrán.

En los mares fríos, como el Atlántico Sur, la actividad microbiana es lenta, no sólo porque los mecanismos bacterianos son más lentos, sino también porque el petróleo se vuelve más viscoso y produce una película gruesa que impide o reduce el ataque microbiano. En período invernal, la oxidación fotoquímica se reduce por ser los días más cortos.

Las alteraciones que sufre el petróleo derramado en el medio marino se designan bajo el nombre de intemperización. Este petróleo intemperizado es bastante diferente que el petróleo producido o recientemente derramado, ya que pierde muchos de sus componentes solubles o volátiles. Este crudo puede dañar a los organismos marinos, permanecer en los sedimentos y dañar a las aves.

La degradación natural de los hidrocarburos en el mar incluye los siguientes procesos:

**a. Dispersión:**

Este proceso que es el primero en producirse, atenúa la película aceitosa hasta unos milímetros, depende de la viscosidad, la tensión superficial del petróleo y del agua, y del factor tiempo.

**b. Evaporación:**

Los compuestos de petróleo de bajo peso molecular y de bajo punto de ebullición se volatilizan, dependiendo también de la viscosidad del petróleo, de sus características y de las condiciones climáticas imperantes.

**c. Disolución:**

Gran parte de los componentes de bajo peso molecular se separan de la masa de hidrocarburos y se disuelven en el medio marino. Aquí también los parámetros arriba indicados tienen su influencia. Generalmente este mecanismo es largo, ya que los procesos de oxidación y degradación microbiana producen compuestos polares que también se disuelven en el agua.

**d. Emulsificación:**

El petróleo se mezcla con el agua, o viceversa, el agua se mezcla con el petróleo.

Es el proceso por el cual un líquido se dispersa en otro líquido en forma de pequeñas gotitas, es decir como suspensión. En el caso del petróleo existen 2 tipos:

**Petróleo en agua:** Pueden ser fácilmente dispersas por las corrientes y la agitación superficial. La formación natural de estas emulsiones resulta muy positiva debido a que acelera los procesos de disolución, foto-oxidación y biodegradación. Precisamente esto es lo que se pretende al aplicar dispersantes a un derrame.

**Agua en petróleo:** se forma cuando se mezcla agua con petróleo viscoso o asfáltico por acción de las olas. Es muy estable y puede durar meses o años.

Las emulsiones que contienen de 30% a 50% de agua, tienden a fluir como el petróleo, mientras que las que contienen del 50% al 80% son las más comunes, tienen color café y la consistencia de la grasa. La degradación de este tipo de emulsión es muy lenta y solo puede ser acelerada por la presencia de cierto tipo de bacterias dentro de la emulsión.

**e. Auto-oxidación:**

Reacción catalizada por la luz y el oxígeno del aire para formar cetonas, aldehídos, alcoholes y ácidos carboxílicos (todos compuestos polares) que se disuelven en el agua o actúan como detergentes u agentes emulsificantes.

**f. Degradación microbiana:**

Puede ser de dos tipos, aeróbica o anaeróbica. El petróleo es una fuente alimenticia de ciertas bacterias, enzimas, actinomicetes, hongos y levaduras.

- **Oxidación aeróbica:** los microorganismos que oxidan el petróleo necesitan oxígeno, en la forma disuelta o en la forma libre. Por lo tanto la degradación biológica ocurre en la interfaz aire-agua. Bajo la superficie de la columna de agua o en el fondo del mar, esta degradación es muy limitada.
- **Oxidación anaeróbica:** algunos organismos pueden oxidar el petróleo sin presencia de oxígeno. Estos utilizan los nitratos o los sulfatos como fuente de oxidación. Las pseudomonas aeruginosa, utilizan los n-hexadecano para reducir los nitratos a nitritos.

**g. Hundimiento:**

La evaporación, la disolución y la oxidación del petróleo pueden provocar un aumento de su peso específico y permitir el hundimiento del mismo.

**h. Resurgimiento:**

Cuando la densidad del petróleo hundido se reduce por efecto de una prolongada oxidación anaerobia, el petróleo puede volver a flotar otra vez y los procesos anteriores se producirán

nuevamente hasta desaparición completa o contaminación de una costa. (GALÁN, 2002)

### 2.1.6. FACTORES QUE INCIDEN SOBRE LOS DERRAMES

Los factores más importantes que determinan seriamente el impacto ambiental del derrame son: el volumen y el tipo de petróleo derramado, el clima, las condiciones del mar, la época del año y el cuerpo de agua donde esto ocurre.

El cuadro 2.2 indica los factores que inciden en el impacto ambiental de un derrame de petróleo:

**Cuadro 2.2.** Factores que inciden en el ambiente debido a un derrame petrolero.

<b>Comportamiento del petróleo derramado</b>	<b>Ambiente costero (Sensibilidad)</b>	<b>Impacto ambiental del derrame</b>
Tipo de petróleo	Tipo de costa	Niveles de recuperación
Volumen derramado	Energía costera	Remediación
Operaciones de control y limpieza	Flora y fauna	
	Población, recursos, uso de la tierra	

**Fuente:** Estrucplan, 2005.

Las descargas accidentales y a gran escala de petróleo líquido son una importante causa de contaminación de las costas.

Los casos más espectaculares de contaminación por crudos suelen estar a cargo de los superpetroleros empleados para transportarlos,

además se producen por la explotación de las plataformas petrolíferas terrestres y marinas, y por atentados a las tuberías o líneas de flujo.

Se estima que de cada millón de toneladas de crudo embarcadas se vierte una tonelada.

Hay medidas las cuales buscan mitigar la acción de los derrames petroleros sobre el agua, entre las cuales se encuentra la acción preventiva la cual es considerada como la más importante, aunque lo ideal es que nunca sucedan los derrames de petróleo, estos suceden, y hay planes de acción que se aplican con la finalidad de tratar de eliminar la contaminación presente.

### **2.1.7. PROCESOS DE DETOXIFICACIÓN NATURAL Y BIOTRANSFORMACIÓN EN EL AGUA.**

El derrame se elimina en última instancia cuando el petróleo se biodegrada. Los microbios que degradan el petróleo están presentes de forma natural en el entorno.

El ritmo al cual los organismos degradan el petróleo depende de las propiedades del agua y del petróleo y de la actividad microbiana. Este proceso se prolonga durante escalas temporales de semanas a años.

Los microorganismos involucrados son los hongos y bacterias cuyo amplio metabolismo, les permite emplear componentes específicos del crudo en calidad de fuente de carbono.

Los microorganismos trabajan en forma coordinada en posta, esto es, que el residuo generado por unos, es la arteria prima de otro, de esta forma no compiten y permiten la degradación completa de los contaminantes. De algunas experiencias se conoce que, por lo general la primera etapa la efectúan los hongos, quienes rompen las moléculas de los compuestos aromáticos e hidrocarburos alifáticos ramificados con mayor facilidad y eficiencia que las bacterias.

## 2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS

El término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

### 2.2.1. SISTEMAS BÁSICOS.

En una planta de tratamiento típica, el agua residual se dirige a lo largo de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos en los que cada uno posee una función para reducir una carga contaminante específica.

Estas funciones son típicamente:

- Pretratamiento: *Físico y/o químico*
- Tratamiento primario: *Físico*
- Tratamiento secundario: *Biológico*
- Tratamiento avanzado: *Físico, químico y biológico*

Las aguas residuales industriales pueden tener unos valores de entrada altos en DBO<sub>5</sub><sup>6</sup> y bajos en SS<sup>7</sup>; así como un alto contenido en metales pesados y compuestos orgánicos. Algunos residuos industriales pueden tener valores altos de DQO<sup>8</sup> y bajos valores de DBO; por lo que se requiere tanto un pretratamiento físico (desorción de amoníaco con aire) como químico (por procesos de oxidación/reducción de metales pesados) antes del tratamiento biológico. El tratamiento biológico es el

---

<sup>6</sup> DBO<sub>5</sub>.- Demanda bioquímica de oxígeno.

<sup>7</sup> SS.- Sólidos en suspensión.

<sup>8</sup> DQO.- Demanda química de oxígeno.

de fangos activados, que es capaz de disminuir una amplia gama de tamaños de partículas de  $\text{DBO}_5$  y SS.

En la industria láctea es necesario el uso de biofiltros para reducir los valores de entrada en torno a los 2000 mg/l de  $\text{DBO}_5$  a valores de 300 o 400 mg/l antes de los sistemas de tratamiento por fangos activados.

### **2.2.2. PRETRATAMIENTO**

Es el proceso o procesos que preparan las condiciones del agua residual que puede someterse a posteriores procesos de tratamiento secundario biológicos convencionales. En aguas residuales urbanas se procede a la separación de materia flotante, arena y manchas de aceites; estas materias inhibirán el proceso biológico y posiblemente dañarían el resto de los equipos mecánicamente. Para los procesos principales de tratamiento biológico los parámetros ideales del afluente de entrada de un fango activado urbano se encuentra en un rango de 100 a 400 mg/l para  $\text{DBO}_5$  y SS. Puede darse el caso que el agua residual urbana con aportes de la industria, pueda tener valores de pH demasiado ácidos o alcalinos con lo cual se necesita una corrección del mismo para una degradación biológica óptima. Esto se logra con la adición de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) o cal.

El Pretratamiento de las aguas residuales urbanas normalmente es solo físico, lo que incluye equilibrado de caudales, separación en rejillas y separación de arenas o restos de aceites.

Las aguas residuales industriales pueden precisar adicionalmente de un pretratamiento químico en forma de lavado con aire (separación de amoníaco), oxidación, reducción (precipitación de metales pesados) y proceso de flotación por aire (separación de aceites). (Fig. 2.2.)

#### **2.2.2.1. Rejillas de desbaste**

Su objetivo es la separación de sólidos flotantes de gran tamaño como trapos o botellas de plástico, y de ésta manera proteger aguas

abajo los equipos mecánicos talos como bombas. Existen cuatro tipos de rejillas:

- **Rejillas de gruesos:** con aberturas mayores a 6 mm, separan sólidos de gran tamaño.
- **Rejillas de finos:** con abertura en un rango entre 1,5 y 6 mm, a veces se emplean como sustituto de la decantación primaria.
- **Rejillas de extra finos:** con unas aberturas en un rango entre 0,2 y 1,2mm, reducen los SS a niveles de entrada de la decantación primaria.
- **Microtamices:** con aberturas en un rango de 0,001 a 0,3 mm, se emplean para afinar la calidad del efluente a modo de etapa final de tratamiento.

#### **2.2.2.2. Canales de desarenado**

Las arenas no suelen existir en aguas residuales de procesos industriales pero con parte de los sistemas municipales donde se combinan las propias aguas residuales con el agua de lluvia. La separación de la arena se debe a que si se permite su paso se puede ocasionar abrasión del equipo mecánico, así como su sedimentación en la planta de tratamiento biológico, reduciendo el volumen disponible de la misma.

Los dos tipos comunes para los equipos de desarenado son:

- Desarenador aireado de flujo helicoidal
- Canal desarenador de flujo horizontal

#### **2.2.2.3. Flotación**

Es el proceso unitario de separación basado en la capacidad para flotar de las partículas sólidas en una fase líquida.

Este proceso implica el aporte de burbujas de aire por la parte inferior de las cubas de flotación., estas burbujas de aire se adhieren a la materia sólida y la capacidad del conjunto para flotar provoca que las

partículas se eleven hasta la superficie donde son recogidas por rasquetas. La flotación se emplea cuando las partículas en suspensión tienen velocidades de sedimentación tan bajas que no se pueden eliminar en tanques decantadores. Las partículas pueden sedimentar con ayuda química por la acción de coagulantes, como es el caso de la eliminación de partículas en suspensión en el tratamiento de las aguas potables.

En los sistemas de flotación se incluyen:

- Flotación por gravedad
- Flotación al vacío
- Electroflotación
- Flotación por aire disuelto (FAD)
- Flotación por aire

#### **2.2.2.4. Homogeneización**

Para que la depuradora de aguas residuales pueda tratar un afluente sin dificultad puede ser necesaria la homogeneización de muchos de los parámetros del propio afluente, estos pueden ser los siguientes:

- **Homogeneización de caudal:** Es habitual en las industrias que operan cinco días a la semana; aquí el caudal se iguala o se reparte en un periodo de 7 días, así que el caudal que llega a la planta es el mismo durante cada uno de los 7 días.
- **Homogeneización orgánica:** Una industria puede tener efluentes con altos valores de DQO varias veces durante la semana que se mantienen solamente unas pocas horas; si esto se enviase directamente a la depuradora puede causar una carga de choque con los consiguientes problemas; por lo tanto es normal equilibrar la carga alta de forma que se envíe a la planta para tratamiento una carga más pareja.

- **Equilibrado de nutrientes:** Los nutrientes se añaden al agua afluyente cuando la entrada de agua residual sea deficiente en aquellos.
- **Equilibrado de pH:** Cuando el afluyente de la depuradora posea valores de pH muy bajos o muy altos para un tratamiento secundario óptimo. El valor deseable de pH para los sistemas de tratamiento por fangos activados está en un rango entre 6,5 y 8,5. Muchas de las aguas residuales no se encuentran dentro de estos rangos y por lo tanto deben ser equilibradas.

La homogeneización y neutralización se lleva a cabo en un tanque, situado después de las rejillas de desbaste y el desarenador, y antes de la decantación primaria.

### 2.2.3. TRATAMIENTO PRIMARIO – FÍSICO

Se lo denomina clarificación, sedimentación o decantación. En este proceso unitario el agua residual se deja decantar durante un periodo de aproximadamente 2 horas, en un tanque de decantación y producir así un efluente líquido clarificado en una línea y un fango líquido-sólido denominado fango primario en una segunda línea. El objetivo es producir un efluente líquido de calidad aprovechable para la siguiente etapa de tratamiento que es el tratamiento biológico secundario, y lograr una separación de sólido que dé lugar a un fango primario, que pueda ser convenientemente tratado y vertido. Entre los beneficios del tratamiento primario se incluyen:

- Reducción de los sólidos en suspensión
- Reducción de la DBO<sub>5</sub>
- Reducción de la cantidad de fango activado en exceso en la planta de fangos activados

- Separación del material flotante
- Homogeneización parcial de los caudales y carga orgánica

En el tratamiento primario se lleva a cabo una sedimentación en reposo con recogida de las materias flotantes y grasas, así como la eliminación del lecho de fango sedimentado. La sedimentación se lleva a cabo en decantadores con una geometría variada incluyéndose:

- Circulares, los más frecuentes
- Rectangulares
- Cuadrados

#### **2.2.3.1. Decantación primaria mejorada químicamente**

La adición de coagulantes como sales de hierro, cal, aluminio, previa a la decantación provoca la floculación de la materia fina en suspensión, en flóculos más propensos a la decantación; esto aumenta sustancialmente el rendimiento de las tasas de separación de SS y DBO<sub>5</sub>.

La mejora química mantiene un elevado rendimiento y una amplia gama de tasas de separación. En los decantadores primarios convencionales, a medida que la velocidad de sedimentación aumenta, el rendimiento de separación disminuye.

Con coagulantes químicos, los rendimientos de eliminación son casi constantes para unos rangos de carga superficial entre 20 y 80 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> (Heinke y Tay et al., 1980). (Cuadro 2.3.)

**Cuadro 2.3.** Comparación de los rendimientos de separación de contaminantes en la decantación primaria con y sin coagulación.

Parámetros	Con coagulantes (%)	Sin coagulantes (%)
STS	60-90	40-70
DBO <sub>5</sub>	40-70	25-40
DQO	30-60	20-30
PT	70-90	5-10
Bacterias	80-90	50-60

**Fuente:** Kiely et al., 1999. Adaptado de Harleman, 1991.

Una desventaja de los coagulantes químicos es el aumento de los lodos primarios en la decantación primaria, que son de tipo químicos, muy diferentes del fango biológico, este fango químico resulta muy difícil de deshidratar.

El mecanismo para la decantación primaria mejorada químicamente consiste en el empleo de un tanque de aireación antes del propio decantador, los productos químicos se añaden en el tanque de aireación.

#### **2.2.3.2. Fangos de la decantación primaria**

La cantidad de fangos producidos durante la decantación primaria dependerá del caudal, los sólidos en suspensión totales y el rendimiento de la eliminación de sólidos.

#### **2.2.4. TRATAMIENTO SECUNDARIO – BIOLÓGICO**

El objetivo principal del tratamiento secundario es la reducción del valor de DBO<sub>5</sub> que no se beneficia de la decantación primaria tanto como los SS; en otras palabras el tratamiento secundario debe ser un proceso capaz de biodegradar la materia orgánica en productos no contaminantes, como por ejemplo H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y biomasa o fangos.

El producto efluente líquido final debe estar bien estabilizado o bien oxigenado, de tal manera que no proporcione una fuente de alimento para las bacterias aerobias en el medio acuático receptor. Así que la descarga a un medio receptor debería conducir a poca o ninguna eliminación de oxígeno disuelto por la acción bacteriana. Para producir un afluente líquido bien oxigenado existe un amplio abanico de procesos biológicos, algunos generales y algunos de empresas específicas, que son capaces de eliminar la materia orgánica del agua residual.

#### **2.2.4.1. Los principios de la oxidación biológica**

Los mecanismos de separación de materia orgánica incluyen:

- **Biodegradación:** La biodegradación es el mecanismo dominante para la eliminación de compuestos orgánicos en las aguas residuales urbanas y en la mayoría de las industriales. En la actualidad la mayoría de las plantas depuradoras utilizan el sistema de fangos activados para este propósito. (Fig. 2.3.)
- **Desorción con aire:** También llamado lavado con aire; en los sistemas aerobios se produce el lavado con aire del carbón orgánico volátil (COV). La rotura del material carbonoso por degradación aerobia emite  $\text{CO}_2$  y otros COV hacia la atmósfera.
- **Adsorción:** La adsorción de compuestos orgánicos no degradables en partículas sólidas biológicas no es significativo, pero si se presentan ciertos compuestos orgánicos incluyendo los pesticidas, por ejemplo lindano. Los metales pesados se adsorberán en la biomasa y se

bioacumularán con el resultado de una formación de fangos conteniendo metales pesados.

#### **2.2.4.2. Sistemas de tratamiento secundarios**

Los sistemas de tratamiento secundario se clasifican de forma amplia en:

- Cultivos en suspensión
- Cultivos fijos
- Cultivos duales, cultivos biológicos en suspensión y fijos

Los sistemas de cultivos fijos se definen como aquellos procesos aerobios que obtienen una alta concentración de microorganismos a través del recirculado de sólidos biológicos. Los organismos bacterianos transforman la carga orgánica biodegradable de las aguas residuales y ciertas fracciones inorgánicas en una nueva biomasa y otros productos no contaminantes como el agua o el dióxido de carbono. La biomasa se extrae como fango y el líquido una vez decantado como efluente clarificado. Los gases también se someten a un lavado con aire.

Los sistemas de cultivos en suspensión y en particular los sistemas particulares de fangos activados por el flujo en pistón son los procesos más comunes para el tratamiento de las aguas residuales urbanas como industriales.

Los sistemas de cultivo fijo o de reactores de película fija permiten el crecimiento de una capa bacteriana en la superficie de un medio (piedra, material plástico) expuesto a la atmósfera de donde se absorbe el oxígeno necesario. Al hacerlo así, la capa microbiana se extiende con la propia agua residual y en este proceso la capa microbiana transforma la carga orgánica biodegradable de las aguas residuales en biomasa y subproductos. El filtro percolador también denominado lecho bacteriano es habitual en la depuración de aguas residuales urbanas que ya han pasado por una decantación

primaria. Los contactores biológicos rotativos o biodiscos se utilizan para aguas con más carga orgánica que las aguas residuales urbanas. Para este tipo de aguas se usa frecuentemente como pretratamiento a un sistema de fangos activados o filtro bacteriano con relleno de piedra.

Los sistemas duales emplean dos etapas con procesos de cultivo fijo y cultivo en suspensión con el objetivo de conseguir un efluente que cumpla con los estándares de primera calidad.

La fig. 2.4 muestra algunos de los procedimientos secundarios que se detallaron anteriormente.

#### **2.2.5. PROCESOS DE TRATAMIENTOS AVANZADOS**

Los objetivos de los procesos avanzados de tratamientos de agua son:

- Tomar un agua tratada por procedimientos estándar y mejorarla hasta una calidad excepcionalmente alta como se suele exigir en las industrias farmacéuticas y de bebidas.
- Tratar el agua que contienen contaminantes concretos sean estos químicos o biológicos hasta un estándar aceptable; por ejemplo, separación de hierro y manganeso, separación de algas verdiazules, Separación de productos orgánicos concretos.

Actualmente algunas normativas tienen más restricciones cuando se trata de áreas sensibles o aguas que serán para consumo humano; para esto es necesario proyectar plantas que proporcionen un estándar mejor de tratamiento secundario convencional y así obtener concentraciones de contaminantes más bajas.

Para satisfacer estándares de calidad de agua se deben reducir contaminantes traza tales como metales pesados y compuestos refractarios debido a su toxicidad para la vida acuática o su interferencia

con captaciones de agua potable aguas abajo. Los tratamientos avanzados de aguas residuales tienen dos funciones:

- Afino del efluente (mejorando los valores DBO y SS)
- Eliminación de compuestos tóxicos

Para el afinado del efluente y la eliminación de compuestos tóxicos estos son los procesos más fácilmente disponibles:

- Filtración en medio granular
- Adsorción
- Tratamiento químico
- Lavado con aire
- Cloración

#### **2.2.5.1. Filtración en medio granular**

La filtración se aplica cuando la concentración de SS en el efluente debe ser  $< 10$  mg/l. Las unidades de filtración no son iguales que las empleadas en el tratamiento de aguas potables, su sentido de circulación puede ser descendente (más común) o ascendente. Pueden ser filtros duales (bicapa) o multimedio (multicapa). El medio filtrante puede ser natural o sintético y pueden trabajar por gravedad o a presión. Fig. 2.5.

La filtración sigue a la clarificación secundaria, que a su vez puede ser seguida de una desinfección.

Debido a que los SS del afluente cuando pasa a los filtros son bajos, puede ser necesaria la adición de coagulantes químicos como polielectrólitos. Estos se dosifican a razón de 0,5 a 1,5 mg/l en el afluente del decantador secundario o de 0,05 a 0,15 mg/l a la entrada de filtros. En filtros bicapa el medio suele ser de antracita situada encima de arena, con una profundidad total entre 1 y 2m y velocidades de filtración entre 5 y 25 m/h.

Los filtros multicapa así mismo un medio filtrante de antracita, arena y granate; estos filtros producen una mayor calidad del filtrado.

### **2.2.5.2. Adsorción con carbón activado**

Los compuestos orgánicos en el agua residual pueden eliminarse bien por carbón activado en polvo (PAC) o carbón activado granulado (GAC). En las aguas residuales urbanas los compuestos orgánicos no suelen ser problemáticos; únicamente lo son si las aguas se han contaminado con compuestos orgánicos industriales. Los compuestos orgánicos solubles (la mayoría eliminados en el tratamiento secundario) ocasionan una merma del oxígeno disuelto en las aguas receptoras.

Entre los compuestos orgánicos solubles se incluyen: bencenos, clorobencenos, cloroetanos, éteres clorados y fenoles, diclorobencenos y PAH.

El carbón activado elimina selectivamente estos compuestos cuando entra en contacto con agua que contenga materia orgánica mediante los siguientes procesos:

- Adsorción de las moléculas menos polares
- Filtración de las partículas mayores
- Deposición parcial de las coloides en la superficie externa del carbón activado.

Los tipos de procesos de adsorción con carbón incluyen:

- Columnas ascendentes
- Columnas descendentes
- Lechos fijos y expandidos.

En el diseño de una unidad de adsorción de carbón se tiene en cuenta el tiempo de contacto, la raga hidráulica, la profundidad del lecho de carbón y el número de unidades. Normalmente se emplean dos o más unidades, algunas veces se disponen en serie para eliminar el carbón que se desprende de la primera unidad. El lecho de carbón se limpia mediante un retro lavado.

### **2.2.5.3. Tratamiento químico**

El tratamiento químico puede emplearse en muchos de los problemas que se presentan en la depuración de aguas residuales:

- Mejora de la decantación por sales metálicas o polielectrólitos
- Reducción o enmascaramiento de olores
- Precipitación química del fosforo
- Reducción de los problemas en fangos activados, como fango voluminoso
- Corrección de pH
- Desinfección

(Awwa et al., 1991), (Metcalf y Eddy et al., 1991)

### **2.2.5.4. Eliminación de amoníaco por lavado con aire**

Muchas industrias alimentarias y farmacéuticas producen un efluente rico en amoníaco. En los estándares de calidad de efluentes se contemplan también un límite para el amoníaco así como para  $\text{DBO}_5/\text{SS}$ . Si los niveles de amoníaco son altos, puede no ser posible reducirlos con procesos de eliminación biológicos de nitrógeno convencionales.

En el proceso de desorción de amoníaco se eleva el pH a un rango entre los 10,8 y 11,5 donde el nitrógeno amoniacal se convierte en gas de amoníaco y se libera en la atmosfera. El nitrógeno amoniacal también se puede eliminar de las aguas residuales con adición de cloro pero solo en pequeñas cantidades a efectos de llevar a cabo un tratamiento de afino y no eliminar grandes cantidades de amoníaco. Cuando se añade cloro a un agua residual con nitrógeno amoniacal, se producen cloraminas en la reacción con ácido hipocloroso. Si se prosigue en la adición de cloro se rebasa el punto de ruptura, y las cloraminas se convierten en gas nitrógeno.

### 2.2.5.5. Procesos de membrana incluida ósmosis inversa

Las técnicas de separación de membrana incluyen:

- Microfiltración (MF)
- Ultrafiltración (UF)
- Ósmosis inversa (OI)
- Electrodialisis (ED)

Se trata de técnicas de filtración muy sofisticadas para filtrar impurezas diminutas; la microfiltración y la ultrafiltración separan moléculas de acuerdo con su tamaño y masa molecular. Fig. 2.6.

▪ **Microfiltración:**

Permite a las macromoléculas ( $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  mm) fluir a través de la membrana. Las bacterias que son mayores de  $10^{-4}$  mm están imposibilitadas de pasar a través de la pared de la membrana. Los poros de pared en estas unidades son de  $10^{-3}$  a  $10^{-2}$  mm. Generalmente, igual que en las técnicas convencionales de filtración, el tamaño de partícula retenida es aproximadamente un orden de magnitud más pequeño que el tamaño de partícula/poro del filtro.

▪ **Ultrafiltración:**

El umbral de corte para esta técnica oscila en el intervalo de  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  mm de tamaño de poro.

▪ **Ósmosis inversa:**

Esta técnica es muy diferente a las anteriores. Se trata de una técnica de solución difusión que hace uso de una membrana semipermeable que actúa como barrera para las sales disueltas y las moléculas inorgánicas. Confina los productos orgánicos con pesos moleculares mayores de 100.

Las membranas de OI no tienen poros identificables como en MF o UF (Bilstad et al., 1992). La OI se ha utilizado en desalación.

Fig. 2.7.

▪ **Electrodiálisis:**

Es un proceso de membrana cargada eléctricamente, en el que los iones se transfieren a través de una membrana desde una solución menos concentrada hacia una solución más concentrada; el flujo de agua pura es tangencial a la membrana mientras que el de iones es transversal. (Bilstad et al., 1992).

Los procesos de membranas que se usaban en desalación tenían aplicaciones limitadas; sin embargo, dada la amplia gama de impurezas en las aguas se están realizando algunas modificaciones. Algunas de las aplicaciones más recientes incluyen líquidos o efluentes líquidos de la industria donde los tratamientos convencionales se consideran inadecuados para satisfacer los estándares relativos a productos orgánicos e inorgánicos complejos. Las aplicaciones para resolver problemas de contaminación incluyen metales pesados, aguas oleaginosas, hidrocarburos clorados y también lodos. (Kiely et al., 1999).

### 2.2.6. DIAGRAMAS DE FLUJO.

Los diagramas que se exponen a continuación pueden explicar algunos de los procesos de tratamiento de aguas que se presentaron anteriormente.

▪ **Diagrama de una depuradora de aguas residuales**

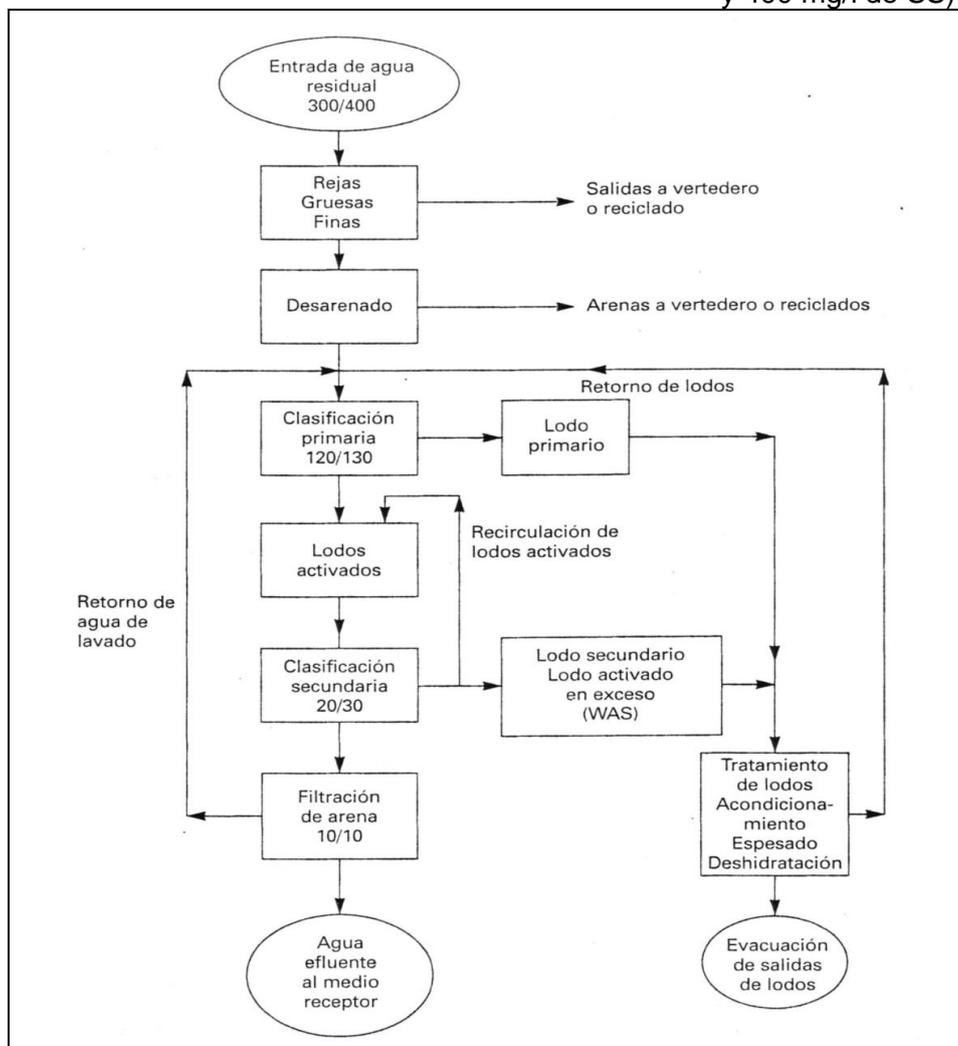
La Fig. 2.1 es un diagrama de flujo en el cual se muestran los procesos en un sistema de depuración de aguas residuales urbanas. Existen dos productos finales: el fango sólido y el efluente líquido. Se

identifica el proceso y el alcance de la reducción aproximada en términos de  $\text{DBO}_5$  y SS. Las características de entrada son alrededor de 300 mg/l de  $\text{DBO}_5$  y 400 mg/l de SS.

La decantación primaria elimina normalmente un 30 % del  $\text{DBO}_5$  y un 60% del SS. El tratamiento secundario por el proceso de fangos activados añadiendo una decantación secundaria aún disminuye la relación  $\text{DBO}_5 / \text{SS}$  a 20/30; con este proceso se podría obtener una calidad de efluente que cumpla con la legislación local.

(Kiely et al., 1999)

**Fig. 2.1.** Procesos unitarios en una depuradora de aguas residuales urbanas. (300/400 significa 300 mg/l de  $\text{DBO}_5$  y 400 mg/l de SS)

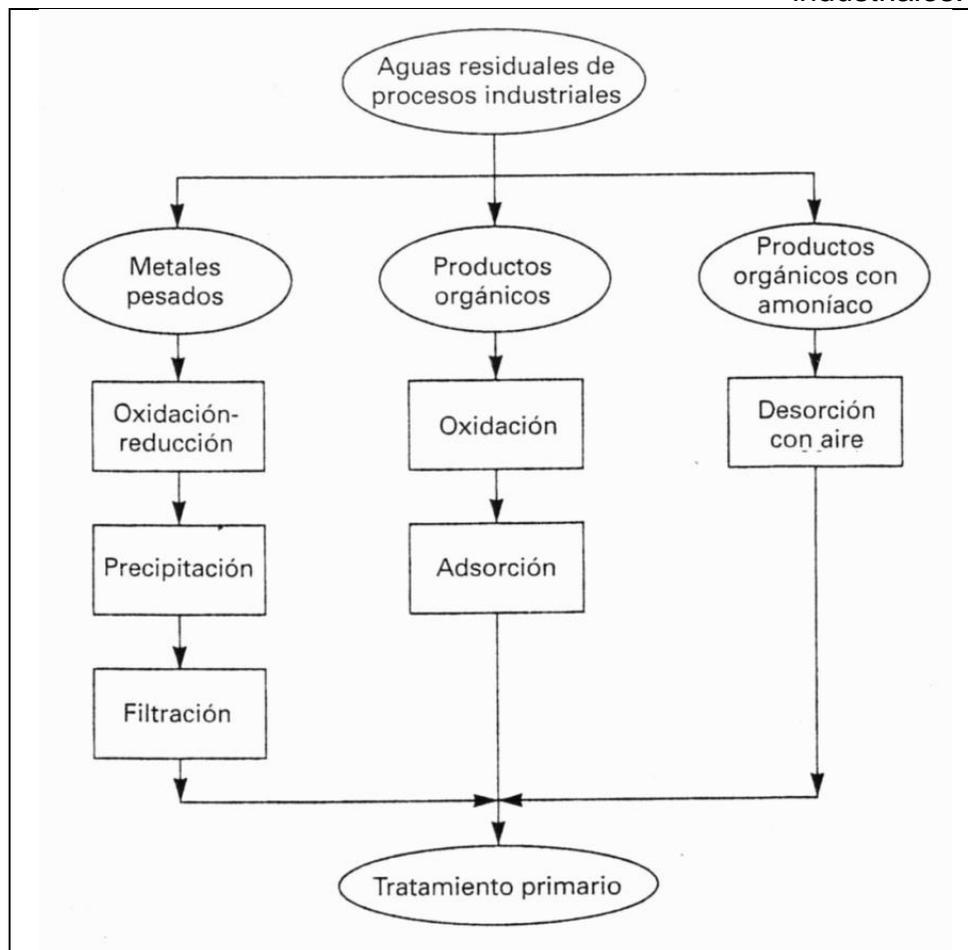


Fuente: Kiely et al., 1999.

▪ **Diagrama de un pretratamiento.**

La Fig. 2.2 muestra uno de los procesos de pretratamiento utilizados en los efluentes urbanos. Si los efluentes industriales tienen un tratamiento posterior en una planta municipal, primeramente seguirían los siguientes procesos.

**Fig. 2.2.** Pretratamiento químico típico de efluentes industriales.



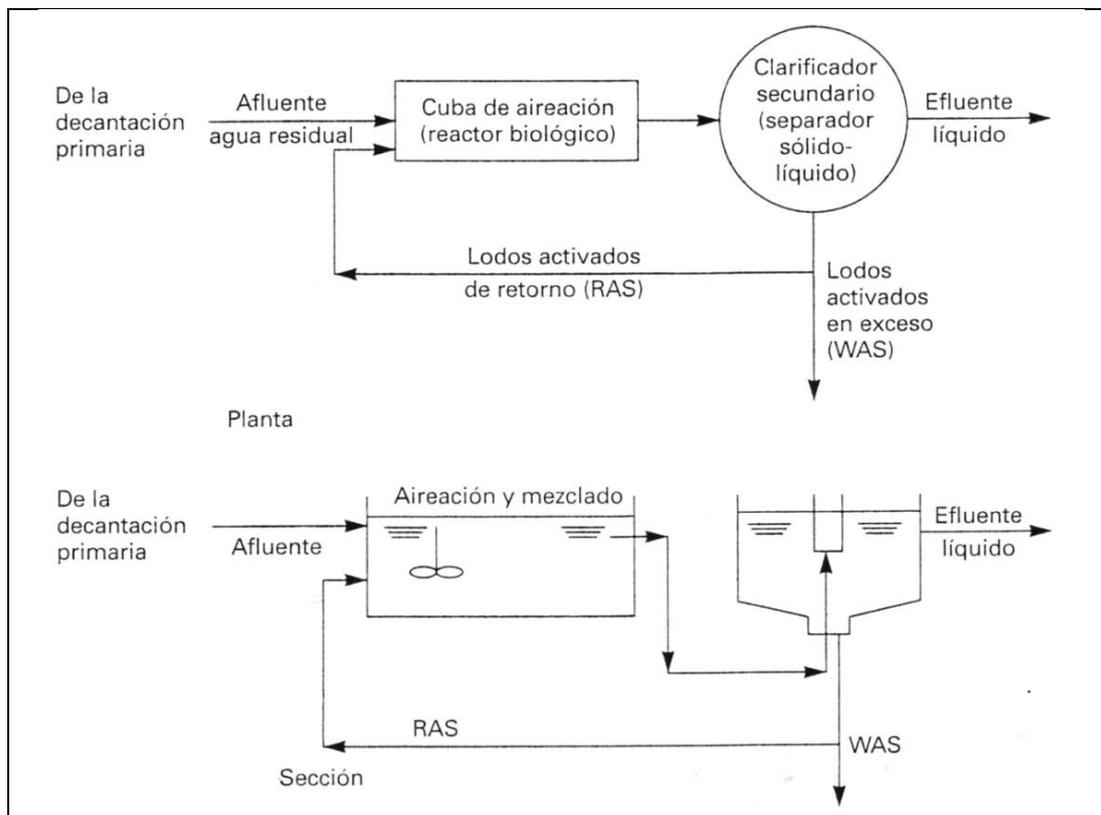
**Fuente:** Kiely et al., 1999.

▪ **Esquema de un sistema de fangos activados**

La Fig. 2.3 comprende dos bloques, la cuba de aireación y el decantador secundario. La cuba de aireación retiene el afluente de agua residual durante un número de horas o días, en un medio conveniente mezclado y aireado, antes de conducir el efluente para una clarificación posterior en el decantador secundario.

Los productos finales del decantador secundario son efluente líquido clarificado, para ser vertido y un fango activado líquido, una fracción del fango se recircula a la cuba de aireación y se denomina fango activado de retorno (FAR). El fango contiene una densidad elevada de biomasa bacteriana viva y al recircular parte de ella, se mantiene una población activa de bacterias en la cuba de aireación. (Kiely et al., 1999)

**Fig. 2.3.** Esquema típico de un sistema de fangos activados.

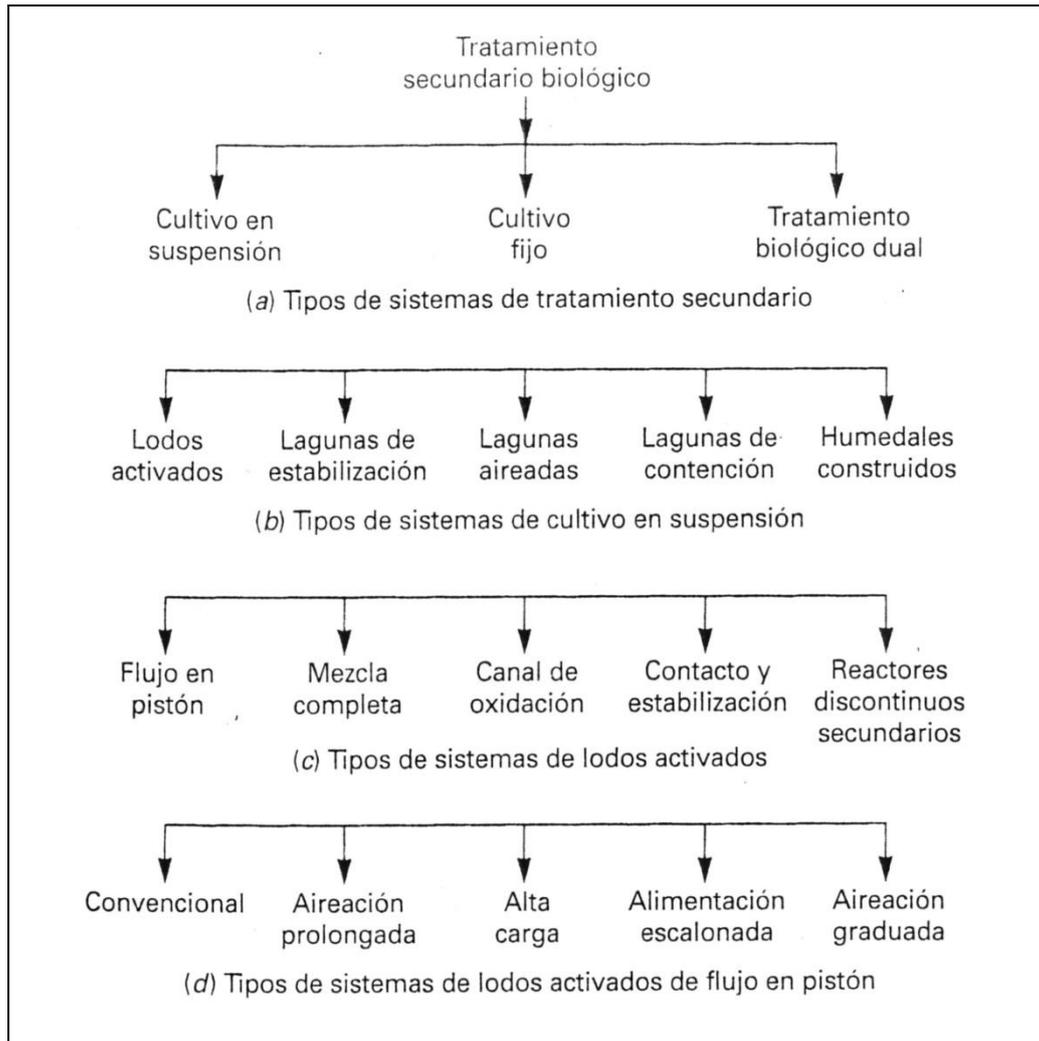


**Fuente:** Kiely et al., 1999.

▪ **Diagrama de los sistemas de tratamiento secundario**

La Fig. 2.4 relaciona algunos de los diferentes procesos de tratamiento secundario, cultivo en suspensión, cultivo fijo y tratamiento dual.

**Fig. 2.4.** Sistemas de tratamiento secundario.

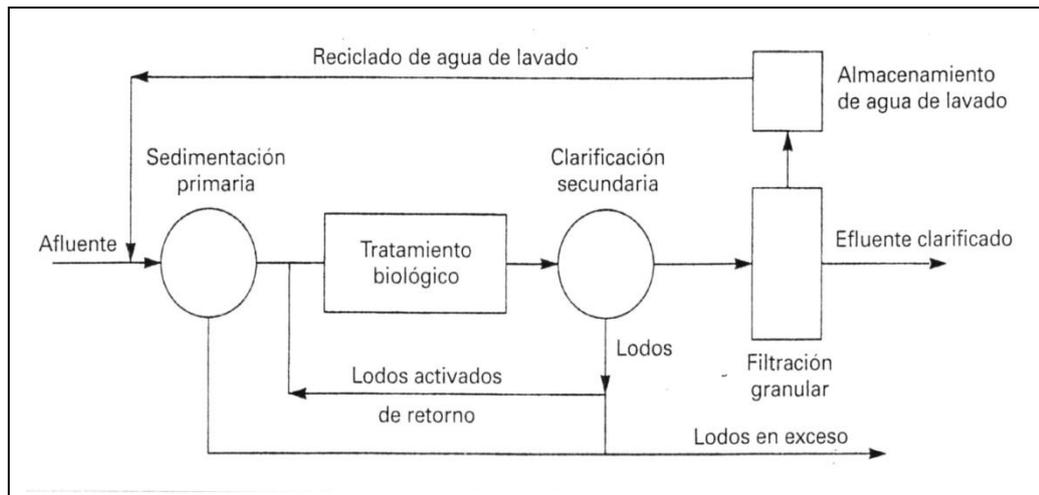


**Fuente:** Kiely et al., 1999.

- **Sistema de aguas residuales que incluye filtración.**

En la Fig. 2.5., se muestra un esquema de funcionamiento típico de un sistema que incluye filtración.

**Fig. 2.5.** Esquema típico de un sistema de aguas residuales que incluyen filtración.

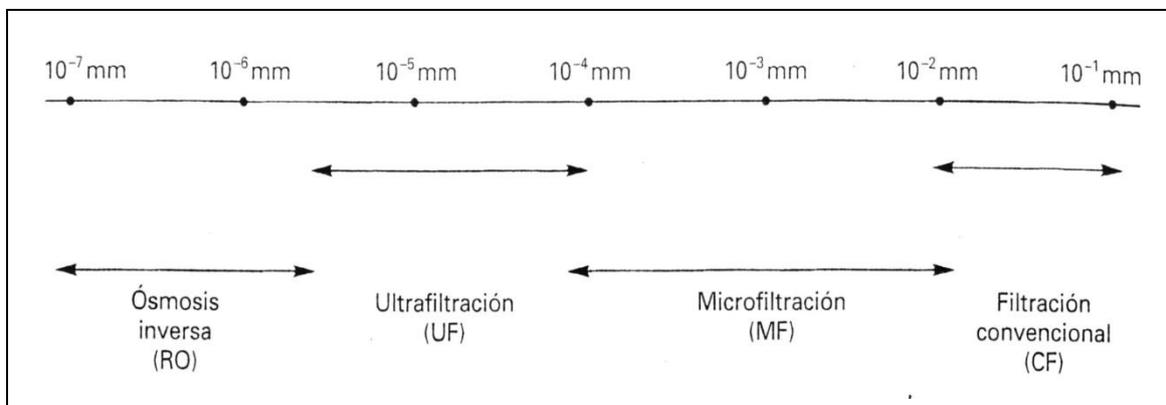


Fuente: Kiely et al., 1999.

- **Procesos utilizando membranas**

La Fig. 2.6., es un esquema del tamaño de partícula que se encuentra en el agua residual, y la técnica de separación asociada a su tratamiento.

**Fig. 2.6.** Procesos de separación y tamaños de partículas asociados.

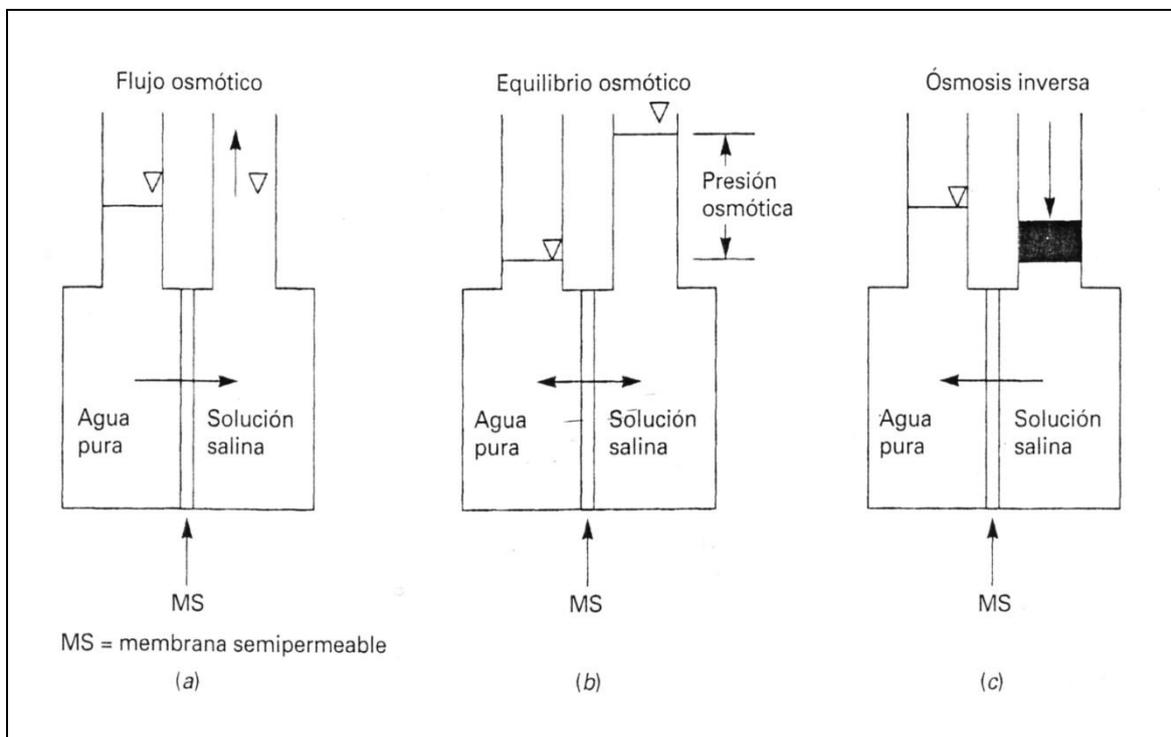


Fuente: Kiely et al., 1999.

### ▪ Ósmosis inversa

Uno de los procesos avanzados de tratamiento de aguas se muestra en la Fig. 2.7 la ósmosis inversa. La presión aplicada sobrepasa la presión osmótica de la solución salina frente a una membrana semipermeable, obligando pasar al agua pura a través de la membrana y dejando solo sales atrás; es decir todos los iones quedan retenidos en el lado derecho. (KIELY, 1999)

**Fig. 2.7.** Esquema de ósmosis inversa.



**Fuente:** Kiely et al., 1999. E.I. du Pont de Nemours and Co., 1980.

## 2.3. TAMICES MOLECULARES

### 2.3.1. DEFINICIÓN

Un tamiz molecular es un material que contiene poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme que se usa como agente absorbente para gases y líquidos. Las moléculas que son lo suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros son absorbidas, mientras que las moléculas mayores no, a diferencia de un filtro, el proceso opera a nivel molecular. Por ejemplo, una molécula de agua puede ser lo suficientemente pequeña para pasar, mientras que otras moléculas más grandes no pueden hacerlo. Debido a esta propiedad se emplean como agentes desecantes. Un tamiz molecular puede absorber hasta un 22% de su propio peso en agua.

Los tamices consisten de minerales, aluminosilicatos, arcillas, vidrios porosos, carbones microporosos, zeolitas, puzolanas, carbón activado o compuestos sintetizados que tienen estructuras abiertas a través de las cuales pueden difundir moléculas pequeñas como las del agua o el nitrógeno.

### 2.3.2. ISOTERMAS

Una **isoterma de adsorción** (también llamada *isoterma de sorción*) describe el equilibrio de la adsorción de un material en una superficie de modo más general sobre una superficie límite, a temperatura constante. Representa la cantidad de material unido a la superficie (el sorbato) como una función del material presente en la fase gas o en la disolución. Las isotermas de adsorción se usan con frecuencia como modelos experimentales, que no hacen afirmaciones sobre los mecanismos subyacentes y las variables medidas. Se obtienen a partir de datos de medida por medio de análisis de regresión

Existen algunos tipos de isoterma, entre las cuales podemos analizar:

### 2.3.2.1. Isotherma de adsorción de Freundlich o ecuación de Freundlich

Esta isoterma de adsorción, es una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto.

La isoterma de adsorción de Freundlich se expresa matemáticamente como:

O

Donde:

$x$  = masa de adsorbato

$m$  = masa de adsorbente

$p$  = Presión de equilibrio del adsorbato.

$c$  = Concentración de equilibrio del adsorbato en disolución.

$K$  y  $1/n$  son constantes para un adsorbato y adsorbente dados, y para una temperatura particular.

### 2.3.2.2. La isoterma de adsorción de Langmuir

Describe cuantitativamente el depósito de una gran capa de moléculas sobre una superficie adsorbente como una función de la concentración del material adsorbido en el líquido con el que está en contacto. Dicho de otra forma, también puede definirse como una disposición bicapa.

La forma de la isoterma, asumiendo que el eje X representa la concentración de material adsorbente en contacto con el líquido, es una curva gradual y positiva que se va allanando hasta llegar a un valor constante. A menudo se representa como una adsorción en la superficie inicial seguida por un efecto de condensación como

resultado de la extremadamente fuerte interacción soluto-soluto. En cromatografía, no es común la isoterma de Freundlich, y la mayoría de los procesos de adsorción se describen mejor con la isoterma de Langmuir.

La **ecuación de Langmuir** o **isoterma de Langmuir** o **ecuación de adsorción de Langmuir** relaciona la adsorción de moléculas en una superficie sólida con la presión de gas o concentración de un medio que se encuentre encima de la superficie sólida a una temperatura constante. La ecuación fue determinada por Irving Langmuir en 1916. La expresión de la ecuación es la siguiente:

---

Donde,  $\theta$  es la fracción de cobertura de la superficie,  $P$  es la presión del gas o su concentración, y  $\alpha$  es una constante.

La constante  $\alpha$  es la **constante de adsorción de Langmuir** y es mayor cuanto mayor sea la energía de ligadura de la adsorción y cuanto menor sea la temperatura.

### 2.3.3. TIPOS DE TAMICES

Existe una amplia gama de tamices moleculares entre los cuales podemos mencionar a: zeolitas, carbón activado, puzolanas, bentonitas, arcillas y margas. Para el presente estudio tienen importancia los dos primeros, razón por la que serán descritas al detalle.

#### 2.3.3.1. Zeolita

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos cristalinos. La primera zeolita se describió en 1756, por Cronstedt, un

minerólogo sueco, que les dio el nombre de origen griego “piedras hirviendo”, refiriéndose a la evolución del vapor de agua cuando la roca se calienta.

Las zeolitas son cristales formados por unidades tetraédricas que contienen átomos de silicio o aluminio rodeados por cuatro átomos de oxígeno que se unen compartiendo vértices. La mayor ventaja de estos materiales es que poseen una estructura tridimensional. Tienen poros bien definidos de dimensiones moleculares con alta superficie interna, extraordinaria estabilidad térmica y elevada capacidad de intercambio iónico. Esta última característica aparece como resultado de sustituir algunos de los átomos de silicio de su estructura cristalina, por átomos de aluminio, lo que origina una carga negativa en la estructura que hay que compensar con cationes y protones como calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro. (CALERO, 2006).

Los iones pueden ser desplazados por otras sustancias, por ejemplo metales pesados e iones de amoníaco. Este fenómeno se le conoce como intercambio catiónico, y es esta capacidad de la clinoptilolita lo que le da las útiles propiedades. La clinoptilolita se conoce también como adsorbente de ciertos gases, como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre.

### **2.3.3.2. Carbón activado**

Los tamices moleculares de carbón se diferencian de la mayoría de adsorbentes utilizados para la separación de gases o líquidos, en que su selectividad se basa en el tamaño y forma de las moléculas adsorbidas que producen diferencias en las cinéticas de adsorción. Los tamices moleculares de carbón son materiales microporosos de dimensiones de poro medio similares a las dimensiones cinéticas de la molécula de adsorbato, con capacidad de adsorción normalmente menor y distribución de microporosidad más estrecha que la de

carbones activados típicos. En la literatura se indica que los valores de volumen de microporos nunca son superiores a unos  $0,2 \text{ cm}^3 / \text{g}$ . Los carbones poseen propiedades de tamiz molecular debido a que sus poros tienen forma de rendija, por lo tanto tienen excelente selectividad de forma para moléculas planas, alta hidrofobicidad y una alta resistencia a ataques químicos tanto ácidos como básicos. Estas propiedades hacen de los carbones activados unos materiales que poseen ciertas ventajas respecto a las zeolitas en la separación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  en presencia de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Las propiedades más importantes de los tamices moleculares de carbón son selectividad, velocidad de adsorción y capacidad de adsorción, pueden ser controladas por un número de factores que incluyen la naturaleza del precursor, condiciones de carbonización y activación de los materiales seleccionados bajo condiciones controladas, encogimiento del tamaño de los poros por tratamiento térmico de los carbones activados tras la activación y modificaciones superiores como la eliminación de grupos superficiales que bloquean la porosidad y depósito de carbón en los poros para reducir el tamaño de estos, realizado con breas, resinas o craqueo de hidrocarburos.

Mayormente se utiliza el método de depósito de carbono por craqueo de diferentes hidrocarburos para crear tamices de tamaño de poro determinado; éste método controla el tamaño de los poros por precipitación de carbono en el interior de los poros. El principal problema encontrado con este sistema es que, si bien el tamaño medio de poro puede ser controlado, no es fácil manipular la extensión para conseguir distribuciones homogéneas.

Para trabajos de remediación ambiental como el tratamiento de aguas se emplea el carbón activado de cuesco de palmiste, que presenta la mayor isoterma de adsorción y brinda los mejores resultados.

## **2.3.4. APLICACIONES.**

### **2.3.4.1. Zeolita**

En los últimos años se ha desatado un gran interés industrial por las zeolitas. Desde el punto de vista del control ambiental presentan diversas aplicaciones por su alto potencial en la descontaminación. La sustitución de iones permite la adsorción de ciertos elementos contaminantes del suelo, agua y aire. Por ejemplo, las zeolitas se han utilizado para adsorber e inmovilizar metales pesados dañinos como el plomo, cromo, níquel y zinc, de aguas y suelos contaminados, así como para separar Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) del aire. En la industria se utilizan como fertilizantes liberando lentamente nutrientes, en rellenos se realiza compost para el acondicionamiento y contribución a la textura del suelo, también se los utiliza como adsorbentes y catalizadores.

Las aplicaciones de la clinoptilolita son extremadamente diversas, entre otras:

- Tratamiento de aguas residuales.
- Potabilización de agua.
- Suplemento dietético para animales.
- Tratamiento de residuos de granjas.
- Eliminación de amoníaco en piscifactorías.
- Fabricación de fertilizantes de liberación lenta.
- Modificación de suelo.
- Medio cultivo para plantas.
- Purificación y separación de gases.
- Manipulación de residuos nucleares.
- Materiales de construcción ligeros.
- Control de contaminación.
- Eliminando malos olores
- Deshumificadores.

En tratamiento de aguas residuales y de efluentes la zeolita natural es el mejor sistema de filtración natural que existe para tratamiento de agua. Ofrece un efecto superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, como metales pesados y amoníaco. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos y olores no deseados. Investigaciones en este campo, han llegado a las siguientes conclusiones: (Andrews et al., 1993).

En el estudio, se substituyeron los 20cms superiores de una cama de arena de origen silicio de un metro de espesor con las siguientes ventajas:

- Rendimiento más alto hasta  $0.75\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  comparado con  $0.15\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  mientras se mantiene la calidad del agua (se mide la turbidez).
- De 3 a 5 veces más agua procesada entre ciclos de mantenimiento de residuos.
- Series de tratamiento hasta 50% más largas, hasta con carga máxima.
- Burtica et al., 1997 encontraron lo siguiente: La altura de la capa de un filtro de zeolita es un 35% del de un filtro de cuarzo.
- La zeolita reduce en un 30% la turbidez y la carga orgánica (segundo ciclo de filtración) respecto al 10% de la arena.

Para que las zeolitas resulten útiles es necesario primero conocer en detalle sus estructuras, analizar sus propiedades y determinar sus limitaciones. El mayor inconveniente de estos materiales es que su síntesis y manipulación resulta, en muchos casos, complicada y costosa. Gracias al enorme desarrollo de los ordenadores en los

últimos años la industria cuenta ahora con el apoyo de la Simulación Molecular. Las simulaciones requieren un menor coste económico, permiten alcanzar condiciones complicadas en el laboratorio (por ejemplo trabajar a muy altas presiones y las bajas temperaturas), ejercen un perfecto control de todos los parámetros que intervienen en el proceso y además proporcionan información a nivel molecular de todos y cada uno de los compuestos que forman parte del sistema. (CALERO, 2006).

Las zeolitas empleadas en tratamiento de aguas son granuladas malla 80 a 100, que soportan presiones de hasta 90 psi.

#### **2.3.4.2. Carbón activado**

Los tamices moleculares de carbón son materiales útiles para la separación y purificación de mezclas de gases que han sido aplicados en una gran variedad de sistemas tales como: La preparación de tamices de  $O_2$  y Ar, de propileno y propano, purificación de  $H_2$  y  $N_2$ , separación de  $N_2$  y  $O_2$  del aire, dado que la diferencia en los diámetros cinéticos de estas dos moléculas es de menos de 0.02 nm., es evidente que el diseño de los tamices moleculares requiere de un control muy riguroso del tamaño de poros, recuperación de  $H_2$  de gases de reformado del petróleo y separación o recuperación de gases a partir de biogás. Los principales componentes que han de ser separados en este tipo de aplicaciones son:  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ , CO y  $H_2S$ .

El carbón activo puede adsorber a partir de líquidos y de agua un abanico de sustancias orgánicas, de materiales oxidantes como el cloro y el ozono, y ciertos metales pesados.

Las aplicaciones típicas para el agua y los líquidos son:

- La producción de agua potable: quitar el sabor, el olor y los micropoluentes tales como pesticidas.

- El tratamiento de aguas domésticas: en línea y mediante filtros de cartuchos
- El tratamiento de agua para quitar el cloro y el ozono activos
- El saneamiento de agua subterránea
- El tratamiento terciario de aguas residuales: extracción de micropoluentes y de la DQO, olores, colores. El carbón activo añadido en forma de polvo se utiliza como mejorador de floculación en sistemas de purificación de agua biológicos aerobios y anaerobios o como aditivo en procesos de purificación de agua físico-químicos.
- La purificación de flujos de productos: purificación de aceites, grasas, alcohol, bebidas sin alcohol, colorantes, etc.; decoloración de azúcar y glucosa, alimentos, productos químicos, medicinas, etc.;
- Como catalizador en procesos químicos.

### **2.3.5. EXPERIENCIAS NACIONALES, REGIONALES O MUNDIALES.**

**2.3.5.1. Centro de Investigaciones y Proyecto de la Industria Minero-Metalúrgica de la Habana (CIPIMM)** durante más de 20 años de investigación ha desarrollado importantes aplicaciones relacionadas con el empleo de las zeolitas en la producción de abonos órgano-minerales, que garantiza la asimilación de más del 90% del fósforo presente en las rocas fosfóricas cubanas de baja y mediana ley. Dispone además de tecnologías para recuperar fósforo, amonio y potasio (más de 98%) y obtener residuales totalmente descontaminados, para el acondicionamiento de aguas salinas para irrigación de cultivos, en la industria del papel, enriquecimiento de oxígeno y purificación de gases. Existe una experiencia importante en la aplicación de las zeolitas en el cultivo de la caña, que permite

la reducción de las pérdidas por lixiviación y volatilización del nitrógeno.

#### **2.3.5.2. El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (Cuba)**

posee una amplia experiencia en el desarrollo e investigación de los yacimientos de zeolitas y de las tecnologías para su tratamiento, posee un grupo de aplicaciones para la remoción de metales pesados de residuos industriales, y recuperación de amonio de residuos sólidos. En los últimos años ha desarrollado investigaciones conjuntas con el Instituto de Materiales y Reactivos de la Universidad de la Habana dirigidas a obtener zeolitas modificadas para la recuperación de varios metales y aniones de soluciones y residuos, y su posterior empleo en la agroindustria.

#### **2.3.5.3. “Adsorción de contaminantes orgánicos por medio de zeolitas naturales de la provincia del Guayas”.** Autor: Xavier Briz Quintero. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) Guayaquil, Ecuador (2007).

Los objetivos que se plantearon en esta investigación fueron:

- Caracterizar química, física, mineralógica y morfológicamente un grupo de muestras de rocas zeolitizadas.
- Seleccionar una muestra de interés y modificar sus propiedades de adsorción por medio de un compuesto orgánico cuaternario de cadena larga.
- Estudiar los fenómenos de adsorción de contaminantes orgánicos en muestras de zeolita natural y modificada.

La principal conclusión obtenida fue que la zeolita modificada por HDTMA tiene capacidad de adsorción de fenol y presenta una curva de isoterma de adsorción cuadrática, con un promedio en la adsorción de alrededor de 65 %.

**2.3.5.4. Tratamiento de aguas residuales aceitosas de WEATHERFORD Ecuador,** Esta empresa brinda servicios de mantenimiento, reparación, limpieza y venta de tuberías y herramientas de perforación; genera 18 m<sup>3</sup> de aguas residuales las mismas que en la actualidad se tratan químicamente con floculantes, siendo una de sus operaciones unitarias más importantes la adsorción del espejo iridiscente de hidrocarburos, y COV residuales mediante un filtro mixto de zeolitas y carbón activado.

Este proceso permite a la empresa generar aguas de calidad que cumplen todos los parámetros establecidos por la legislación ambiental ecuatoriana y le ha permitido obtener la certificación ISO14000.

**2.3.5.5. Las zeolitas naturales de la costa del Ecuador (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones.** Autor: Fernando Morante Carballo. Tesis doctoral.

Los objetivos alcanzados en esta tesis fueron:

- Determinación de la capacidad de adsorción de los cationes plomo, cobre, zinc, amonio y protones, mediante ensayos en columnas de lecho fijo y caudal constante.
- Acondicionamiento de zeolitas con cloruro sódico para convertirla en su forma sódica y mejorar su capacidad de intercambio.
- Ensayos de adsorción en lecho fijo con zeolita acondicionada para conseguir mejoras en su capacidad de adsorción.
- Ensayos de tratamiento de aguas ácidas de mina con zeolita.

La principal conclusión extraída de esta investigación fue que las zeolitas de la costa de Ecuador tienen una selectividad de cationes en el siguiente orden: protones, plomo, cobre y zinc que fueron tratados a la misma velocidad de flujo. Por otra parte pueden ser utilizadas en varias aplicaciones: medioambientales, en la purificación de aguas, agricultura y pecuaria.

## 2.4. FITORREMEDIACIÓN

El concepto de usar plantas para limpiar suelos contaminados no es nuevo, desde hace 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales. En Rusia en los años sesentas se realizaron investigaciones utilizando plantas para recuperar suelos contaminados con radionúclidos. Existen reportes sobre el empleo de plantas acuáticas en aguas contaminadas con plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio. La remediación de la acumulación de metales pesados en suelos utilizando plantas es también ampliamente reconocida (Ernst et al., 2000).

### 2.4.1. DEFINICIÓN.

“Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados y compuestos orgánicos por medio de la utilización de plantas.” “Es el empleo de vegetación para el tratamiento *in situ* de suelos, sedimentos y aguas contaminadas.” (Mentaberry et al., 2009).

Es un proceso de descontaminación que involucra el empleo de plantas que pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta (McGrath et al., 2001).

Consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para

remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes. (Frick et al., 1999).

Se basa en los procesos que ocurren naturalmente por los cuales las plantas y los microorganismos rizosféricos degradan y secuestran contaminantes orgánicos e inorgánicos.

#### **2.4.2. CARACTERÍSTICAS**

La fitorremediación emplea plantas para eliminar la contaminación del medio ambiente. Las plantas ayudan a eliminar muchos tipos de contaminación como metales, plaguicidas, explosivos y el petróleo en el suelo y las aguas subterráneas. Las plantas también contribuyen a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas. La fitorremediación es más eficaz en los sitios donde hay baja concentración de contaminantes (EPA, 2001).

La gran mayoría de investigaciones que relacionan a la fitorremediación se basan en el tratamiento de suelos o aguas contaminadas con hidrocarburos y metales pesados.

Según Infante (1998), las bondades de las técnicas de biorremediación permiten recuperar de una forma ambientalmente segura, suelos contaminados por derrame de crudo, áreas de disposición temporal de desechos orgánicos así como realizar un tratamiento continuo de desechos impregnados con hidrocarburos, generados durante la perforación. La contaminación puede inhibir la germinación, inducir un inadecuado desarrollo y comportamiento radicular, provocando déficit en el crecimiento, clorosis, amorfismo en las hojas, etc. El efecto detrimental de la fuente contaminante decrece a medida que es degradado hasta límites no tóxicos, incorporándose a la materia orgánica del suelo (Dibble y Bartha et al., 1979).

En estudios recientes se ha demostrado que la fitorremediación es una solución prometedora para la limpieza de sitios contaminados por una variedad de metales, aunque también tiene una serie de limitaciones (Singh et al. 2003).

La fitorremediación aplicada a suelos contaminados con elementos o compuestos inorgánicos, incluye, básicamente, tres mecanismos: la fitoextracción o fitoacumulación, la fitoestabilización y la fitovolatilización (Singh et al., 2003, Prasad y Freitas et al., 2003).

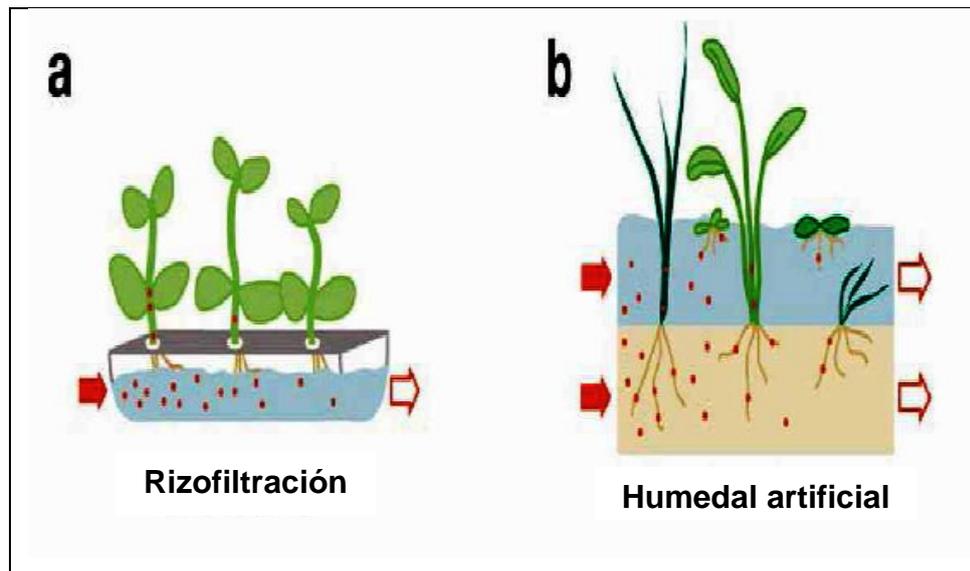
La fitorremediación aprovecha procesos naturales de las plantas. Requiere menos equipamiento y trabajo que otros métodos ya que las plantas hacen la mayor parte de las tareas. Además, los árboles y las plantas pueden hacer más atractivos los sitios. Se puede limpiar un sitio sin necesidad de cambiar el suelo contaminado ni de extraer el agua subterránea contaminada por bombeo. De ese modo se puede evitar que los trabajadores entren en contacto con las sustancias químicas dañinas (EPA, 2001).

### **2.4.3. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN**

Existen algunos tipos de remediación de suelos o aguas contaminadas a través de la utilización de plantas y son los siguientes:

- Fitoextracción
- Rizofiltración
- Fitoestimulación
- Fitoestabilización
- Fitotransformación
- Humedal artificial

**Fig. 2.8.** Fitorremediación utilizada para remediar agua.



**Fuente:** Adaptado de Pilon-Smits, Annual Review in Plant Biology, 2005.

Los humedales artificiales se utilizan para una amplia gama de contaminantes inorgánicos como metales, perclorato, cianuro, nitrato y fosfato; y contaminantes orgánicos como explosivos y herbicidas.

#### 2.4.3.1. Fitoextracción

Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea). Usada principalmente para remediar metales y otros tóxicos inorgánicos. (Se, As, radionuclidos).

Absorción de contaminantes por plantas y traslocación o acumulación en raíz, tallo y/o hojas.

Se utiliza para el tratamiento de contaminaciones con metales ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ).

Las características que deben tener las plantas para que sean aptas para la fitoextracción son:

- Debe tolerar y acumular altas concentraciones de metales en las partes cosechables.

- Debe tener una alta tasa de crecimiento.
- Debe producir un gran volumen de biomasa.

Algunas plantas típicas empleadas son las de girasol, mostaza de la India, nabos, cebada, lúpulo, crucíferas, ortigas, diente de león.

Y otras Hiperacumuladoras como *Thlapsi caerulescens*, *Brassica juncea*, *Pelargonium spp.*

Cuando se trata de remoción de metales utilizando algas y plantas acuáticas, éstas emplean dos mecanismos para separar metales y otros contaminantes (incluyendo radioisótopos) de aguas polucionadas:

- *Reacción superficial rápida independiente del metabolismo*: proceso de difusión que finaliza cuando los iones metálicos solubles se unen o adsorben a la pared celular. Puede remover cantidades significativas en minutos.
- *Reacción de incorporación intracelular lenta dependiente del metabolismo*: proceso de transferencia desde la pared celular al interior de la célula. Demanda horas o días.

#### **2.4.3.2. Rizofiltración**

Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados. Relativamente caro para implementar, siendo útil para cantidades pequeñas de aguas residuales conteniendo compuestos inorgánicos peligrosos (radionucleótidos).

Se emplea en el tratamiento de contaminaciones por:

- Metales ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ )
- Radioisótopos ( $^{137}Cd$ ,  $^{90}Sr$ , U)
- Compuestos orgánicos hidrofóbicos

Las características que deben tener las plantas son:

- Debe tener raíces de crecimiento rápido y ramificación abundante.
- Debe poder remover metales tóxicos por períodos prolongados.
- No debe ser un traslocador eficiente al tallo.

La remoción tiene distintos componentes:

- **Componente rápido:** combinación de procesos físicos y químicos (quelación, intercambio iónico, adsorción); puede ocurrir en raíces muertas.
- **Componentes intermedios:** Incluyen captura intracelular, deposición en la vacuola y traslocación a los tallos.
- **Componente lento:** precipitación mediada por la raíz; involucra exudados de la raíz.

Las siguientes plantas acuáticas son buenas candidatas para encarar procesos de rizofiltración.

- **Plantas acuáticas emergentes:** *Scirpus validus*, *Typha latifolia*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton pectinatus*, *Maranta arundinaceae*, *Lemna spp.*
- **Plantas acuáticas sumergidas:** *Algas*, *Chara vulgaris*, *Myriophyllum aquaticum*, *Myriophyllum spicatum*, *Hydrilla verticillata*

#### 2.4.3.3. Fitotransformación

Metabolismo o degradación enzimática de contaminantes orgánicos en el interior de la planta, transformándolos en no tóxicos o disminuyendo su toxicidad. La fitotransformación comprende los procesos de fitodegradación y fitovolatilización.

- **Fitodegradación:** Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos. Es útil para compuestos orgánicos que se movilizan dentro de la planta, (herbicidas, TNT y TCE).

- **Fitovolatilización:** Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera mediante la transpiración. Puede utilizarse para compuestos orgánicos con formas volátiles como TCE y MTBE, además para algunos compuestos inorgánicos que pueden existir en forma volátil como el Se y Hg.

Esta remediación es empleada en tratamientos de contaminación por:

- Herbicidas (atrazina, alaclor)
- Aromáticos (BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos)
- Alifáticos clorinados (TCE: tricloroetileno; tetracloroetileno)
- Deshechos de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ )
- Deshechos explosivos (TNT, RDX)

Depende de:

- Eficiencia de captura, que varía según las propiedades físico-químicas del compuesto, especie química, propiedades de la especie vegetal.
- Tasa de transpiración, que depende del tipo de planta, área foliar, nutrientes, humedad del suelo, temperatura, viento, humedad relativa.
- Concentración del compuesto disuelto en el suelo

Algunas plantas típicas empleadas son: árboles freatófitos (álamo, sauce, álamo americano), pasturas (centeno, sorgo, festuca), leguminosas (trébol, alfalfa, caupí).

#### 2.4.3.4. Fitoestimulación

Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos como bacterias y hongos. Es usado para remediar contaminantes orgánicos hidrofóbicos que no pueden ser incorporados por la planta pero que pueden ser degradados por los microorganismos (PCBs<sup>9</sup>, HAPs<sup>10</sup> e hidrocarburos derivados del petróleo).

Las plantas proveen el hábitat para el incremento en el tamaño y actividad de poblaciones microbianas. Los exudados vegetales estimulan las transformaciones efectuadas por las bacterias (inducción enzimática). La síntesis de carbón orgánico aumenta la tasa de mineralización microbiana (enriquecimiento de sustrato). El oxígeno transportado hacia las raíces asegura transformaciones aeróbicas. Los hongos micorrízicos asociados a las raíces vegetales metabolizan contaminantes orgánicos.

Algunas plantas típicas empleadas en fitoestimulación son

- Liberadoras de compuestos fenólicos (mora, manzano, Maclura pomífera)
- Pastos con raíces fibrosas (centeno, festuca) para contaminantes hasta 1 metro de profundidad.
- Árboles freatófitos para contaminantes hasta 3 metros de profundidad
- Plantas acuáticas para sedimentos.

#### 2.4.3.5. Fitoestabilización

Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar su paso a napas subterráneas o al aire. Este principio es usado cuando se plantan coberturas vegetales en sitios que contienen contaminantes orgánicos o inorgánicos; o cuando se

---

<sup>9</sup> PCB: Bifenilos policlorados

<sup>10</sup> HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

usan árboles como barreras hidráulicas para permitir el filtrado de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Producción de compuestos químicos por las plantas para inmovilizar contaminantes en la interfaz suelo – raíz.

Empleada en el tratamiento de contaminación por:

- Metales ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{As}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ , U)
- Compuestos orgánicos hidrofóbicos: hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), Bifenilos policlorados (PCBs), dioxinas, furanos, pentaclorofenol, DDT, dieldrina.

Las características deseables en la planta:

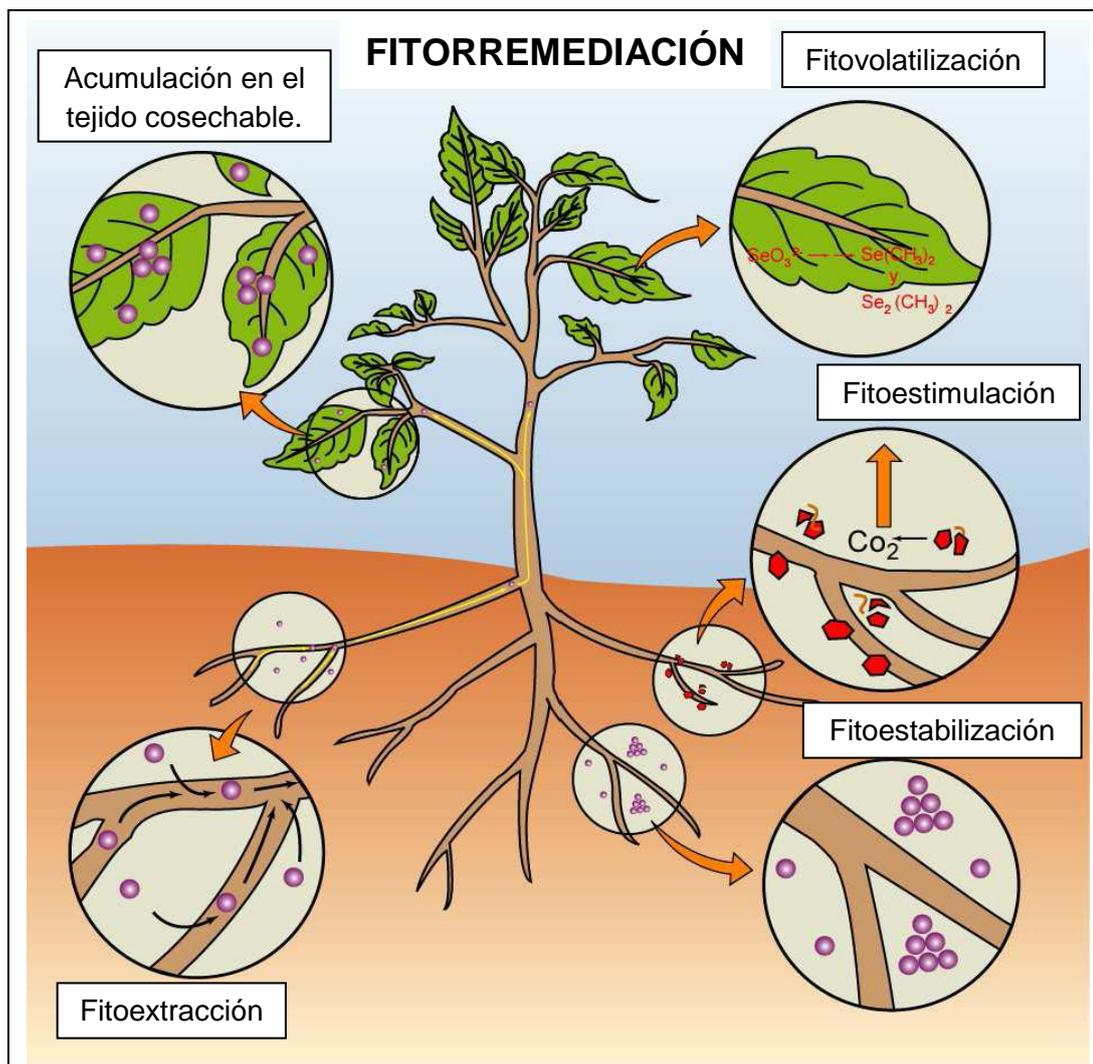
- Debe tolerar altos niveles de metales tóxicos.
- Debe inmovilizar los metales vía captura y posterior precipitación y reducción.
- Debe acumular bajas concentraciones en las raíces

Algunas plantas típicas empleadas en fitoestabilización son árboles freatrófitos que transpiren grandes volúmenes de  $\text{H}_2\text{O}$ , pastos con raíces fibrosas que estabilicen la erosión del suelo, plantas con sistemas radiculares robustos capaces de absorber/unir contaminantes.

Suele aplicarse en sitios moderadamente contaminados, cuando otros métodos de remediación fracasan.

La Fig. 2.9 muestra un esquema general de todos los procesos de fitorremediación.

Fig. 2.9. Esquema de fitorremediación.



Fuente: Adaptado de Buchanan et al., Biochemistry and Molecular Biology of Plants, 2000

#### 2.4.4. PLANTAS EMPLEADAS.

##### 2.4.4.1. Plantas acuáticas utilizadas en Humedales Artificiales.

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para la depuración de aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies, son las dominantes en humedales artificiales en Estados Unidos. También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales europeos. Cuando se

diseñan sistemas que específicamente buscan un incremento en los valores del hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido de aves y otras formas de vida acuática.

El cuadro 2.4 podemos ver algunas plantas acuáticas que se utilizan en depuración de aguas residuales.

**Cuadro 2.4.** Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales.

Familia	Nombre latino	Nombres comunes más usuales	Temperatura, °C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	<i>Carex sp.</i>	-	14-32			5-7,5
	<i>Eleocharis sp.</i>	-				
	<i>Scirpus lacustris L. (*)</i>	Junco de laguna	18-27		20	4-9
Gramíneas	<i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i>	Hierba del maná				
	<i>Phragmites australis (Cav) Trin. ex Steudel (*)</i>	Carrizo	12-23	10-30	45	2-8
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo, espadaña fina				
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos	16-26		20	5-7,5
Tifáceas	<i>Thypha sp (*)</i>	Eneas, aneas, espadañas.	10-30	12-24	30	4-10

(\*)Especie más utilizada entre todas

**Fuente:** Lara et al., 1997.

#### 2.4.4.2. Plantas Hiperacumuladoras de Metales Pesados

Todas las plantas poseen un potencial para absorber una amplia variedad de metales del suelo pero la mayor parte de las plantas tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo. Existe una notable excepción de esta regla de un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (Chen et al., 2001).

Una definición propone que si una planta contiene más de 0.1% de Ni, Co, Cu, Cr y Pb o 1% del Zn en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una “hiperacumuladora”, independientemente de la concentración del metal en el suelo (Robinson et al., 2003).

Las primeras plantas hiperacumuladoras caracterizadas son miembros de las familias *Brassicaceae* y *Fabaceae*. El gran interés despertado por las plantas hiperacumuladoras, especialmente para destoxificar un ambiente contaminado. El entorno de las plantas hiperacumuladoras revela la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios que aumenten la rentabilidad y eficacia de dichas plantas: sus aplicaciones son interesantes en muchas áreas, y particularmente importantes en la protección del ambiente (Lasat et al., 2002).

#### 2.4.5. EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

Se han reportado ensayos sobre el efecto de suelos contaminados con petróleo sobre la germinación de semillas y caracteres de las plántulas en numerosos cultivos.

- Hernández, Valencia y Mager (2003), trabajando con las gramíneas *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha*, indicaron que no existieron diferencias significativas entre la cantidad de semillas

que germinaron y el tiempo promedio de emergencia de las plántulas en los suelos con adición de hidrocarburos de petróleo, respecto al control, y sugirieron que la contaminación con hidrocarburos de petróleo a una concentración del 3 % no afectó la capacidad germinativa de las semillas.

- Quiñones - Aguilar *et al.* (2003), en un experimento con cuatro concentraciones de petróleo en el suelo (0, 15.000, 25.000 y 35.000 mg.kg<sup>-1</sup> de suelo) y once tipos de maíz, encontraron que las concentraciones de 25.000 y 35.000 mg.kg<sup>-1</sup> de suelo favorecieron una mayor emergencia del maíz, después del testigo e indicaron que a concentraciones mayores de 15.000 mg.kg<sup>-1</sup> de suelo, las plantas de maíz germinan y emergen sin graves problemas de toxicidad por petróleo.
- Méndez - Natera *et al.* (2003) encontraron que los menores porcentajes de germinación a los 8, 16, 24 y 32 días después de la siembra, ocurrieron en las máximas concentraciones de petróleo (6 y 9 %) y la germinación fue similar en las concentraciones de 0 y 3 % en los dos suelos estudiados (El Tejero y Caripito, estado Monagas) e indicaron que igual tendencia se observó para el número promedio de días a total germinación e índice de la velocidad de germinación y concluyeron que el maíz podría utilizarse como un cultivo recuperador de suelos afectados por petróleo cuando los niveles de contaminación del suelo no sean tan severos.

A continuación se indican algunas investigaciones en las que la fitorremediación ha sido una excelente alternativa en la extracción de metales pesados.

- Los pastos son el género más adecuado para la fitorremediación de formas orgánicas e inorgánicas de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas

y climáticas (Singh et al. 2003). En las *Asteraceae* se ha reportado por ejemplo tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitorremediadora de ambientes contaminados con este metal (Xiong et al., 1997).

- La especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con zinc y cadmio. Logra eliminar más de 8 mg/Kg de cadmio y 200 mg/Kg de zinc, representado estos valores el 43 y 7 % de estos metales en un suelo agrícola, respectivamente (Lombi et al., 2001).
- El girasol (*Helianthus annuus* L.) es la especie que absorbe los metales pesados en mayor cantidad acumulándose más en sus raíces que en sus brotes si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Christie et al., 2004).

## 2.5. LOS HUMEDALES

### 2.5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HUMEDALES

Los humedales son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él. Se dan en los lugares donde la capa freática se halla en o cerca de la superficie de la tierra o donde la tierra está cubierta de agua poco profunda; son ecosistemas caracterizados por la presencia de plantas hidrófilas<sup>11</sup> como juncos, carrizo, totora, esterilla y otras.

Existen humedales en todos los países, desde la tundra hasta el trópico. No se sabe con exactitud qué porcentaje de la superficie de la Tierra se compone de humedales. El Centro Mundial de Monitoreo de la

---

<sup>11</sup> Plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos, absorbe el agua con gran facilidad.

Conservación ha sugerido un total estimativo de 5,7 millones de Km<sup>2</sup>, aproximadamente el 6 por ciento de la superficie emergente de la Tierra, del cual el 2 por ciento son lagos, el 30 por ciento turberas, el 26 por ciento marjales, el 20 por ciento pantanos y el 15 por ciento llanuras de inundación. Los manglares cubren unos 240.000 Km<sup>2</sup> de zonas costeras y se estima que en todo el mundo quedan unos 600.000 Km<sup>2</sup> de arrecifes de coral.

Los humedales proporcionan el soporte de agua y productividad primaria de la cual dependen para su supervivencia un número incontable de especies de plantas y animales.

#### **2.5.1.1. Definiciones**

Los Humedales son zonas pantanosas, pantanos, marismas, charcas turberas, aguas rasas, riveras, areneros o canales abandonados, naturales o artificiales, temporales o permanentes, con aguas fijas o corrientes, de carácter dulce, salino o salobre (Seoanez et al., 1999).

Según el texto de la Convención Ramsar<sup>12</sup> en el artículo 1.1, define los humedales como:

***"Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros".***

Además, la Convención en el artículo 2.1, estipula que además los humedales:

***"podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de***

---

<sup>12</sup> La Convención Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

***una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal".***

Como resultado de estas disposiciones, el alcance de la Convención comprende una amplia variedad de tipos de hábitat, inclusive ríos y lagos, lagunas costeras, manglares, turberas y hasta arrecifes de coral.

El suelo de los humedales está formado por materiales inorgánicos, materia orgánica y poros que contienen aire, agua o aire y agua.

En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales. Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos; por esta razón se ha llamado a los humedales "Los riñones del mundo" (Mitsch y Gosselink et al., 2000).

#### **2.5.1.2. Valor ponderal de los humedales**

Las zonas húmedas constituyen ecosistemas de gran interés, reconocido por la comunidad científica y por los organismos internacionales (UICN<sup>13</sup>, UNESCO<sup>14</sup>, etc.).

Las propuestas de estos Organismos buscan el desarrollo sustentable, es decir, aprovechar racionalmente los recursos teniendo en cuenta el medio ambiente.

En esta línea, los humedales tienen una serie de valores como los que a continuación se indican:

##### ***Valor ecológico***

- Reserva de especies vegetales.
- Reserva de especies faunísticas.

---

<sup>13</sup> Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

<sup>14</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

- Reservorio genético (sobre todo de avifauna)
- Grandes productores de biomasa.
- Potencial terapéutico.
- Protección del entorno.
- Protección del suelo.
- Ecosistemas de alto valor.

#### ***Valor antrópico***

- Investigación.
- Económico.
  - Explotación de minerales.
  - Turismo.
  - Deportes.
  - Otros recursos.
- Educación.

#### ***Valor Hidrológico***

- Regulación de avenidas.
- Sedimentos aluviales.
- Depuración.
- Reservorio de agua.
- Consumo de recursos hídricos (evaporación) y mantenimiento de ambiente húmedo.

### **2.5.1.3. Tipos básicos de humedales naturales**

#### **a. Lagunas naturales**

- ***Endorreicas:*** sin salida de las aguas superficiales.
- ***Litorales:***
  - Albuferas: en comunicación con el mar.
  - Lagunas de influencia marina.
  - Zonas cubiertas por aguas mesohalinas.

– Esteros: canales y estrechos en los ríos a los que entran las mareas.

- **Charcas:** depósitos de agua en fondos de quebradas o en el llano.
- **De origen fluvial.**
- **Tectónicas.**
- **De cráteres.**

**b. Estuarios:** desembocaduras fluviales ensanchadas.

**c. Deltas:** terrenos aluviales planos o salientes, en la desembocadura de algunos ríos que se dividen en efluente.

**d. Marismas:** terrenos bajos y pantanosos que inundan las mareas altas.

**e. Lucios:** lagunas permanentes, en áreas de marismas.

**f. Turberas.**

**g. Pantanos.**

- **Ciénagas:** zonas pantanosas, con cieno.
- **Charcos:** depresiones del suelo, pequeñas, que recogen el agua de lluvia durante períodos cortos.
- **Barrizales.**

**h. Surgencias:** afloramientos de agua.

**i. Embalses.**

**j. Marjales:** terrenos pantanosos empedregados.

**k. Lagos.**

**l. Estanques.**

**m. Riberas**

**n. Lechos de río.**

**o. Márgenes de embalse.**

**p. Canales en uso.**

**q. Canales abandonados.**

**r. Praderas encharcadizas.**

**s. Canteras, graveras y areneros abandonados**, con suelos freáticos en la superficie. (Seoáñez et al., 1999).

Por otra parte, existen humedales artificiales, como criaderos de peces y camarones, estanques piscícolas, tierras agrícolas irrigadas, salinas, embalses, graveras, campos de depuración de aguas cloacales y canales.

### **2.5.2. HUMEDALES ARTIFICIALES**

Los humedales artificiales están específicamente contruidos con el propósito de controlar la contaminación del agua, han recibido gran cantidad de nombres en las distintas partes del mundo donde han sido usados. (Crites et al., 2000). La denominación más extendida es “Humedales Artificiales” o “Humedales Contruidos” (“Constructed Wetlands”; Environmental Protection Agency, 1988).

En depuración de aguas residuales, generalmente se consideran humedales aquellos sistemas que usan macrófitos<sup>15</sup>, en contraposición a los micrófitos<sup>16</sup>, y por lo tanto los lagunajes no suelen ser considerados como humedales.

Son diseñados para imitar los procesos que ocurren en los pantanos naturales, en consecuencia utilizan plantas y suelos propios de pantanos.

Son una alternativa más barata económicamente, que los tratamientos tecnológicos como los fangos activos o los filtros (M. Scholz y J. Xu et al., 2001).

Los humedales artificiales se han empleado ampliamente para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Así mismo, se han aplicado al tratamiento pasivo de contaminación difusa incluyendo los drenajes

---

<sup>15</sup> Plantas que se ven a simple vista.

<sup>16</sup> Generalmente microalgas.

ácidos de minas, ya que su capacidad para eliminar metales de drenajes ácidos de minas ha sido ampliamente documentada. (E. Stoltz y M. Greger et al., 2001; M. Leblanc, C. Casiot, F. Elbaz-Poulichet y C. Personné et al., 2002).

Además, los humedales junto con su importante función de hábitats para la vida silvestre pueden ser usados como áreas recreacionales. Como señala P.L.Younger, uno de los principales intereses del empleo de los humedales artificiales como sistema de tratamiento de aguas contaminadas es la posibilidad de integrarlos en el paisaje y conseguir una buena conexión con los ecosistemas presentes en la zona.

Los humedales son un complejo sistema de plantas, microorganismos y sustrato que juntos funcionan como un filtro biogeoquímico.

Las plantas de estos humedales juegan un importante papel en esta actividad de depuración (Quian, Zayed, Zhu, Yu y Ferry et al., 1999).

Los macrófitos acuáticos son el principal componente en la mayoría de los humedales de tratamiento de aguas contaminadas. Los sistemas de depuración basados en macrófitos consisten generalmente en un monocultivo o policultivo de macrófitos, dispuestos en tanques, lagunas o zanjas poco profundas y con un tiempo de retención superior al de los sistemas convencionales (Ansola et al., 2003). La elección del tipo de planta depende de su adaptabilidad al clima de la región, de su capacidad de transporte de oxígeno de la superficie a la rizosfera, de su tolerancia a altas concentraciones de contaminantes así como de su capacidad para asimilarlo, de su alta presencia en la zona donde se va a instalar el sistema, de la facilidad para recolectarlas y posterior transporte y su fácil autogeneración (Ansola et al., 2003).

La eliminación de metales pesados en humedales es el resultado de diferentes procesos biogeoquímicos, que incluyen procesos aeróbicos y anaeróbicos en la columna de agua, en la superficie de plantas vivas y en descomposición, y en el sustrato (Sobolewski et al., 1999). Además

esta eliminación se debe principalmente a procesos microbiológicos (V.I. Groudeva, S.N. Groudev, A.S. Doycheva et al., 2000).

#### 2.5.2.1. Características básicas de un Humedal Artificial.

- Sustrato casi siempre artificial o muy modificado.
- Vegetación implantada.
- Especies vegetales elegidas según el tipo y función del humedal.
- Afluentes líquidos contaminados con diversos productos.
- Gestión de la vegetación (Podas periódicas, extracción y cambio de pies, etc.)
- Gestión del sustrato (limpieza, adición de fertilizante, adición de componentes del sustrato para renovación, etc.).

#### 2.5.2.2. Tipos de Humedales Artificiales

Existen dos tipos de Humedales específicos que se diferencian según sea el sistema de circulación de las aguas, si hay o no la presencia de una superficie libre de agua en contacto con la atmósfera, y son los siguientes:

- Humedales de flujo libre o **FWS**<sup>17</sup>
  - Humedales subsuperficiales, **VSB**<sup>18</sup> o **SFS**<sup>19</sup>
- **Humedales de flujo libre o FWS**  
La superficie del agua está expuesta a la atmósfera, las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el flujo de agua se hace a través de las hojas y tallos de las plantas, algunas características adicionales son las siguientes:
    - Flujo de circulación del agua, en lámina libre sobre un lecho en el que enraízan los vegetales del humedal.

---

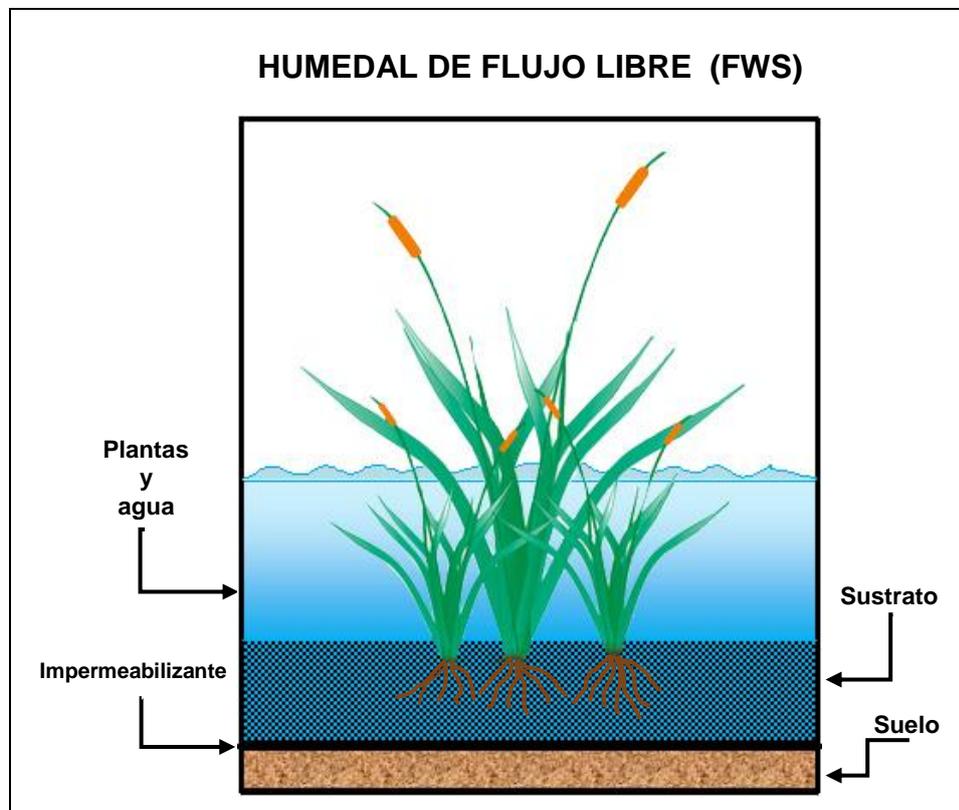
<sup>17</sup> **FWS.**- Free Water Surface

<sup>18</sup> **VSB.**- Vegetated Submerged Bed

<sup>19</sup> **SFS.**- Sistema de Flujo Subsuperficial

- Son más frecuentes (en USA el 70%).
- Menor coste de instalación.
- Hidráulica sencilla.
- Tienen gran parte de las propiedades de los humedales naturales.
- Favorecen la vida animal.
- Las bajas temperaturas provocan descensos en el rendimiento.

**Fig. 2.1.** Esquema de un humedal artificial de flujo libre.



**Elaborado:** Autora.

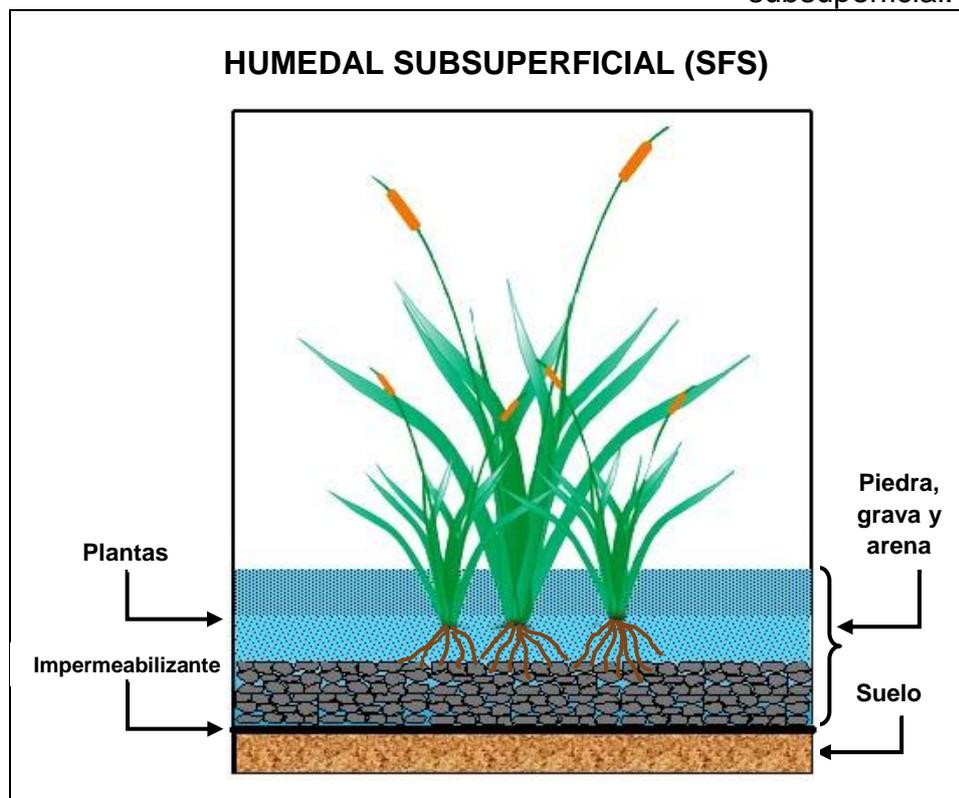
▪ **Humedales subsuperficiales, VSB o SFS**

La lámina de agua no es visible, y el flujo atraviesa un lecho relleno con arena, grava o suelo, en donde crecen plantas, que solo tienen las raíces y rizomas en contacto con el agua. Tienen

la ventaja de no producir olores ni mosquitos y de ocupar menos terreno, pero los procesos en su interior son anaerobios. Además tienen las siguientes características:

- Flujo sumergido, a través de un medio granular.
- Hidráulica más complicada.
- Son menos frecuentes (en USA el 20%).
- Tratamiento más eficaz.
- Necesitan poco espacio.
- Flujo oculto.
- Sin olores.
- Soportan bien temperaturas bajas.
- Son un poco más caros que los FWS.
- Pocos problemas con la fauna.

**Fig. 2.2.** Esquema de humedal artificial de flujo subsuperficial.



**Elaborado:** Autora.

### 2.5.2.3. Componentes del Humedal

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, sustrato, y plantas acuáticas, otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

#### ▪ El agua

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal artificial, porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del sistema de tratamiento.

La hidrología de un humedal construido no es muy diferente a la de otras aguas superficiales, difiere en importantes aspectos:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración.
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo haciendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas, y segundo bloqueando la exposición al viento y al sol.

#### ▪ Sustrato

Los sustratos en los humedales artificiales incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la

baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El sustrato es importante por varias razones:

- Soportan a los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas se producen dentro del sustrato.
- El sustrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

#### ▪ **Vegetación**

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales FWS es que las proporciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en restos de vegetación, que sirven de sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

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

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a bajas velocidades de agua y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos de traza, y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

#### ▪ **Microorganismos**

Las funciones de los humedales son reguladas principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. En los microorganismos se incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios; la biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales

no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante muchos años.

La comunidad microbiana de un humedal artificial puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, por lo que se debe tener cuidado en que esas sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

Los microorganismos viven asociados al sistema radicular de las plantas, donde realizan procesos de transformación aeróbicos y anaeróbicos. Los procesos aeróbicos, transcurren en las inmediaciones de las raíces, allí donde la densidad radicular es elevada y los anaeróbicos en zonas del humedal artificial donde no existe una buena oxigenación radicular. En todo caso los procesos aeróbicos constituyen más del 80% del total de transformaciones.

#### ▪ **Animales**

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

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentado el detritus al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvarias.

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

#### 2.5.2.4. Diseño básico de un Humedal Artificial

Cada sistema de tratamiento debe ser diseñado para un residuo líquido específico, por lo general incluye:

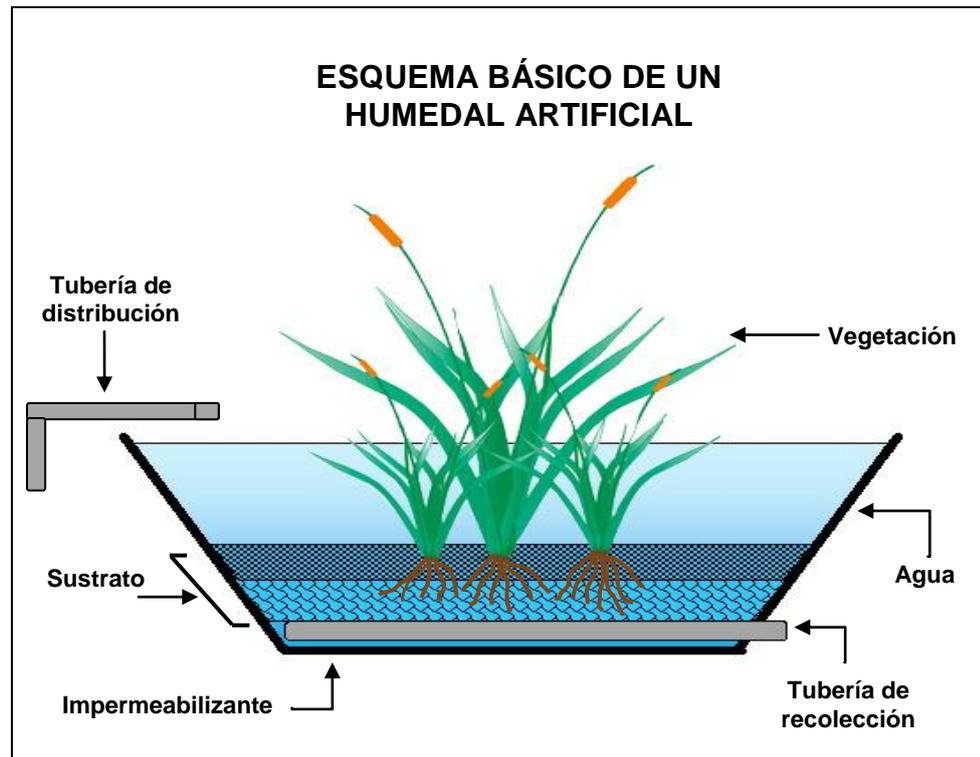
- a. La impermeabilización del fondo y taludes de los lechos.
- b. Una capa superficial de material como medio de cultivo, sobre el cual crecen plantas de pantano.
- c. Las plantas acuáticas que con sus raíces forman una estructura reticular que oxigena el medio donde se desarrollan bacterias que digieren los residuos.
- d. Se utilizan tuberías, accesorios y válvulas, que aseguran los tiempos de retención y control necesarios para el tratamiento.

Debido a que la arena, grava, el material de impermeabilización, tuberías, válvulas y accesorios de PVC, son virtualmente indestructibles, la vida de los Humedales Artificiales es teóricamente infinita.

Desde arriba hacia abajo el corte de un humedal artificial está organizado de la siguiente manera:

- Vegetación (Pasto, juncos, carrizos, plantas flotantes o emergentes)
- Tubería de distribución
- Sustrato
  - Arena
  - Grava de 5/8
  - Grava de ¾
  - Piedra bola.
- Tubería de recolección
- Arcilla roja impermeabilizante, o geomembrana.

**Fig. 2.3.** Diseño básico de un Humedal Artificial



**Elaborado:** Autora.

#### 2.5.2.5. Implantación de vegetación en Humedales Artificiales

En principio, debe estudiarse la vegetación de los humedales más próximos, y así se podrá conocer si sus condiciones ambientales son similares, el tipo de especies autóctonas que puede admitir el nuevo humedal en condiciones ecológicas aceptables.

Además es necesario conocer los objetivos de tratamiento del humedal y la calidad de los vertidos que se aportan para poder saber que especies son capaces de sobrevivir en un ambiente hídrico bastante hostil.

Para implantar la vegetación en el humedal artificial se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Distribuir perfectamente la vegetación, por toda la superficie del humedal, con la espesura predeterminada, de forma heterogénea

y diversa, de manera que se favorezca la mayor ocupación de espacio en el agua, suelo y aire.

- Control del nivel de espesura de los tramos de sistemas radicales, de forma que el agua a tratar no llegue a verse estancada.

Existen varias formas de implantar la vegetación en los humedales.

***Siembra:***

Se realizará de cualquiera de las formas siguientes:

- En lleno.
- Por fajas.
- Por hoyos.
- En caballones.
- En montículos.

La siembra es el método de implantación aconsejable en las siguientes circunstancias:

- Si estamos utilizando especies de crecimiento rápido.
- Si estamos utilizamos especies que soportan bien la luz al principio.
- Si las semillas tienen buena germinación.
- Si es fácil obtener las semillas.
- Si no existe fauna que las consuma.
- Si no existen heladas o grades calores en la época de siembra.
- Frecuentemente se utiliza para muchas herbáceas.

***Depósito:***

Cuando se quieren implantar especies libres, tanto sumergidas como flotantes, el método más cómodo es transportarlas desde las zonas húmedas de origen y dejarlas en el humedal artificial a

modo de depósito. Allí se ubicarán ellas de la forma más conveniente, si son capaces de sobrevivir.

***Plantación:***

Es la forma más frecuente de implantación.

Las plantaciones se realizan cuando se quiere ganar tiempo, pues se implantan individuos con desarrollo avanzado; por otra parte se ahorran las posibles enfermedades y plagas de las primeras fases del crecimiento.

Las plantaciones se deben realizar entre octubre y mayo, dependiendo de la zona, temperatura y las paradas vegetativas. Se debe plantar cuando haya mayor crecimiento radical, por lo menos en algunas especies.

Las plantas acuáticas se pueden implantar:

- Por cepellón (válido para la mayoría de especies).
- Por rizomas.
- Por esquejes (la mayoría de las gramíneas tipo caña).
- A raíz desnuda (la mayoría de las especies arbóreas).
- En maceta (la mayoría de las especies arbustivas y arbóreas).
- Por estaquilla (salicáceas).

**2.5.2.6. Experiencias prácticas**

- En España se han implantado varios proyectos de humedales artificiales, en la EDAR de Los Gallardos, municipio de Almería con una población de 1200 habitantes, se construyó un humedal a escala 1:1, se ocupó parte de una laguna de maduración preexistente en el lugar, impermeabilizándola con polietileno de alta densidad, se colocó un capa de arcilla y otra de grava como sustrato. El humedal se considera formado por una laguna de maduración y un lecho de flujo subsuperficial unidos. Se plantó carrizos a partir de brotes vegetativos de varios metros de

longitud. El humedal ha estado operando desde 1999, se ha logrado remociones de 36% para el nitrógeno, 40% para el fósforo, y el 97% para coliformes fecales.

Se han realizado experiencias en otros lugares: en el río Besós Cataluña (Alarcón et al., 1997), Cantabria (Castillo et al., 1996); León (García et al., 1997; García et al., 1999; Soto et al., 1999); Andalucía (Junta de Andalucía, 1997); Barcelona (Pigem et al., 1999).

- El Centro de Investigaciones de Tecnologías Ambientales, de la Corporación Universitaria de la Costa, ha construido un humedal de flujo subsuperficial que opera con agua residual municipal que se almacena en un tanque de alimentación, el afluente se distribuye mediante una flauta, con un caudal de  $0.33 \text{ m}^3 / \text{d}$ , el TRH es de 6 días y tiene un área de  $8 \text{ m}^2$ . La macrófita utilizada fue *Typha sp.*, y el medio de soporte es grava fina. En la fase de arranque y estabilización, las eficiencias de remoción llegan hasta: 97% para SST, el 90% para DQO y el 92.3% para  $\text{DBO}_5$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Otras aplicaciones de humedales artificiales, se han llevado a cabo en diversos aeropuertos nacionales y en varias pedanías del municipio de Lorca (Murcia) en el seno de un proyecto Life-MA (Life-Medio Ambiente). El proyecto se desarrolló desde el 01/10/02 al 31/09/05, en una población de 500 habitantes; el sistema está formado por 4 canales de 60 m de longitud y 4 m de anchura cada uno, conectados en serie y plantados con esparganios (*Sparganium erectum*). Los resultados de la depuración obtenidos en el humedal muestran que tiene una eficiencia de remoción del 74.1% en DQO, 90.2%  $\text{DBO}_5$ , 37% N total, 27.1 P total.
- En los Estados Unidos (Massachussets, Lloyd. New Hamshire, Vermont, Maine y Amherst), estos trabajos fueron desarrollados por el doctor Ronald Lavin del Instituto Tecnológico de

Massachusset, (MIT), para tratar lixiviados procedentes de rellenos sanitarios urbanos.

- En Ecuador Shushufindi se construyeron 2 sistemas de PSA<sup>20</sup> uno para el camal de la ciudad y otro para el tratamiento de aguas residuales urbanas; con el apoyo financiero del banco mundial y la aportación de la municipalidad. En la actualidad se ha planificado construir una segunda fase para cubrir la creciente demanda de la población.
- En Santo domingo de los Tsáchilas, con apoyo de entonces consejo provincial de Pichincha se construyeron dos sistemas de PSA para el programa de vivienda COVIPRO de 1200 casas del programa Vivienda para todos del consejo provincial.
- En Puerto Aguarico se construye un pequeño PSA de 800m<sup>2</sup> para tratar las aguas generadas en el complejo turístico e interpretación ecológica comunitaria, construido con fondos del Programa de Cooperación Belga.

### 2.5.3. VEGETACIÓN DE LOS HUMEDALES

#### 2.5.3.1. Plantas acuáticas

La vegetación acuática supone la existencia de plantas adaptadas a unas condiciones específicas del medio, que este caso es el agua, las cuales pueden estar en contacto, sumergidas permanente o con sus raíces en terreno limitadamente húmedo en verano, según sean el tipo de vegetación y el tipo de humedal.

Las plantas acuáticas se pueden clasificar según los siguientes grupos:

- Plantas acuáticas anfibias, emergentes, con raíces en el fondo o en las orillas.

---

<sup>20</sup> PSA: *Pantanos Secos Artificiales*

- Plantas acuáticas de hojas flotantes, enraizadas en el fondo o en las orillas.
- Plantas acuáticas sumergidas, enraizadas en el fondo o en las orillas.
- Plantas acuáticas sumergidas libres.
- Plantas acuáticas libres, flotantes.

#### ▪ **Plantas anfibias**

Estas plantas son individuos que se han adaptado a tener parte del vegetal en el agua y parte en el aire.

En ciertos humedales, como en las zonas pantanosas, en las lagunas y en las riberas, suelen ser especies dominantes en las áreas encharcadas.

El sistema radicular es similar al de las plantas acuáticas, estando sus raíces y sus rizomas adaptados a la permanencia en el agua.

A veces las plantas anfibias se denominan también especies palustres, helofitos o hidrofitos emergentes.

Las especies básicas son: *Sparganium ramosum* Huds, *Carex* sp, *Glyceria máxima* Holmb, *Typha latifolia* L., *Phragmites communis* Trin, *Juncus* sp, *Scirpus lacustris* L., *Equisetum limosum* L., *Equisetum palustre* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Iris pseudacorus* L., *Acorus calamus* L., *Baldingera arundinacea* Dum., *Typha domingensis*, *Scirpus pungens*, *Phalaris arundinacea*

#### ▪ **Plantas acuáticas de hojas flotantes, enraizadas en el fondo o en las orillas**

Son especies con las hojas fijadas sobre un rizoma. Las hojas de estas especies, por su situación, suelen tener un limbo ancho que flota en el agua, y pueden alcanzar grandes dimensiones. Puede

ocurrir que posean un fuerte polimorfismo foliar a causa de que tengan unas hojas sumergidas y otras flotantes.

*Potamogeton natans* L., *Polygonum amphibium* L., *Nymphaea alba* L., *Nuphar luteum* Sm.

▪ **Plantas acuáticas sumergidas, enraizadas en el fondo o en las orillas**

Tienen diversas formas: unas son acaules<sup>21</sup>, y otras son caulescentes<sup>22</sup> y tienen raíces a la altura de los nudos.

Existe una serie de factores que condicionan la distribución de estos vegetales, como la calidad del agua, profundidad y temperatura. Además tienden a establecerse en las áreas de los humedales con menor conductividad.

*Ranunculus circinatus* Sibth., *Ranunculus peltatus* Schrank, *Elodea canadensis* Mich., *Callitriche* sp., *Myriophyllum* sp., *Ceratophyllum* sp., *Trapa natans* L., *Hottonia palustris* L., *Najas* sp., *Vallisneria spiralis* L., *Zannichellia pedunculata* Reich., *Zannichellia peltata*.

▪ **Plantas acuáticas sumergidas libres**

Son plantas con hojas en roseta y caulescentes, se mantienen en el agua, con órganos muy especializados que les permiten ejercer sus funciones totalmente ubicadas en medio acuático.

*Stratioides aloides* L., *Utricularia minor* L., *Utricularia gibba* L., *Utricularia vulgaris* L.

---

<sup>21</sup> Dicho de una planta cuyo tallo es tan corto que parece que no lo tiene

<sup>22</sup> Dicho de una planta cuyo tallo se distingue fácilmente de la raíz por estar bien desarrollado

- **Plantas acuáticas libres, flotantes**

Son plantas que no se enraízan en el fondo, son flotantes. También pueden presentarse formas en roseta o caulescentes, según la especie.

*Lemna trisulca L., Lemna gibba L., Lemna minor L., Spirodela polyrhiza Schl., Hydrocaris morsus-ranae L., Nymphoides flava Druce, Salvinia natans All., Salvinia rotundifolia Willd., Azolla filiculoides Lam., Azolla carolimiana Willd.*

### **2.5.3.2. Desempeño de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento.**

Las plantas son muy importantes en los sistemas de tratamiento, siendo sus principales funciones:

- Airear el sistema radicular y proporcionar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera.
- Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- Filtración de sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

## **2.6. MARCO LEGAL**

La Constitución Política del Ecuador garantiza la preservación del medio ambiente, la prevención de la contaminación y la participación de la comunidad.

- La Ley de Hidrocarburos exige en términos generales en su Art. 31 literal t: conducir las operaciones petroleras de acuerdo a las Leyes y Reglamentos de protección del medio ambiente.

- En la Ley de Gestión Ambiental se establece la coordinación interinstitucional a través del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental, del cual la Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas es integrante por sus competencias sectoriales respecto a la industria hidrocarburífera. Esta Ley define entre otros los parámetros técnicos como instrumentos para la gestión ambiental.
- Las Políticas Básicas Ambientales del Ecuador establecen que la Gestión Ambiental se fundamentará en la corresponsabilidad, cooperación y coordinación dirigidas a garantizar un desarrollo sustentable, en base al equilibrio entre lo social, lo económico y lo ambiental.
- Entre los diversos convenios internacionales ratificados por el Ecuador, se hace énfasis en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, en la cual se establecen principios tales como que los Estados deberán promulgar leyes eficaces sobre el medio ambiente.

(RAHO, 2001)

Las leyes y normas ambientales, nos proporcionan mecanismos para controlar la contaminación, además de asegurar un ambiente sano; por esta razón se utilizó la normativa ambiental vigente en el Ecuador, como guía y respaldo en la presente investigación, considerando los siguientes artículos:

El Art. 22 de la Ley de Aguas, prohíbe “toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora y la fauna”.

En la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en el Art. 16 dice “Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que

contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades”.

En el Código de la Salud, el Art. 17 dice ”Nadie podrá descargar, directa o indirectamente, sustancias nocivas o indeseables en forma tal que puedan contaminar o afectar la calidad sanitaria del agua y obstruir, total o parcialmente, las vías de suministros.”

El Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para Operación Hidrocarburíferas, establece en el Art. 29 la normatividad para el manejo y tratamiento de descargas líquidas, en especial exige el “tratamiento específico por separado de aguas lluvias y de escorrentías, aguas grises y negras y efluentes residuales para garantizar su adecuada disposición”. Adicionalmente en el Art. 86 “los sujetos de control y sus operadoras y afines en la ejecución de sus operaciones, para descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de los desechos sólidos en el ambiente, cumplirán con los límites permisibles que constan en los anexos 1, 2 y 3 de este Reglamento”.

En lo referente al anexo 2, el mencionado reglamento, señala que en la tabla 4.a y 4.b se establecen los parámetros, valores máximos referenciales y límites permisibles para el monitoreo y control ambiental.

## **2.7. NORMAS DE PERMISIBILIDAD**

El consumo de agua contaminada por el hombre puede ocasionar graves problemas en la salud, de la misma forma sucede con los ecosistemas acuáticos, ya que cualquier alteración de las propiedades químicas, físicas, biológicas del agua, puede generar efectos adversos sobre los seres vivos que se desarrollan en el medio.

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada o contaminación de ríos, lagos mares, etc., se han ideado mecanismos de análisis y control temprano de la contaminación.

En la mayoría de los países existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza o se vierta a los ríos no cause daños, por lo tanto se han creado instituciones las cuales están encargadas de controlar las descargas de efluentes contaminados.

En el Ecuador existen dos normas que regulan la descarga de efluentes contaminados al recurso agua.

La primera se encuentra en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS), en el Libro VI “*DE LA CALIDAD AMBIENTAL*”, en el anexo 1 “*Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*”. En cual el Ministerio del Ambiente pone en consideración una serie de artículos y normas que rigen los límites de permisibilidad para las descargas.

La segunda se encuentra en el reglamento sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH-1215) dirigido por el Ministerio de Energía y Minas, el cual se enmarca dentro de los estándares ambientales aceptados a nivel nacional e internacional en la industria petrolera; este reglamento específicamente el anexo 2 trata sobre los parámetros, valores máximos referenciales y límites permisibles para el monitoreo y control ambiental. Estos límites constituyen el programa mínimo para el monitoreo ambiental interno y se reportarán a la Subsecretaría de Protección Ambiental.

### **2.7.1. LÍMITES PERMISIBLES PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DE AGUAS.**

La presente investigación busca el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos, por lo tanto se decidió trabajar con el RAOH-1215, específicamente con la tabla 4, del anexo 2, la cual se refiere a que toda descarga en un cuerpo de agua, deberá cumplir con los valores límites establecidos.

En caso de exceder un límite establecido en los anexos, se debe reportar inmediatamente a la Subsecretaría de Protección Ambiental y justificar las acciones correctivas tomadas.

La Tabla 4 muestra los límites permisibles para el monitoreo ambiental permanente de aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados, inclusive lavado y mantenimiento de tanques y vehículos; esta tabla presenta dos partes:

**4.a) Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas), (Cuadro 2.8.)**

**Cuadro 2.8.** Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas).

<b>a) EFLUENTE (punto de descarga)</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible <sup>1)</sup></b>	<b>Promedio anual <sup>2)</sup></b>	<b>Destino de descarga</b>
Potencial hidrógeno	pH	---	5<pH<9	5.0<pH<9.0	Todos
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	<2500	<2000	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<20	<15	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<30	<20	Mar abierto
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	<120	<80	Continente
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	<350	<300	Mar abierto
Sólidos totales	ST	mg/l	<1700	<1500	Todos
Bario	Ba	mg/l	<5	<3	Todos
Cromo (total)	Cr	mg/l	<0.5	<0.4	Todos
Plomo	Pb	mg/l	<0.5	<0.4	Todos
Vanadio	V	mg/l	<1	<0.8	Todos
Nitrógeno global (incluye N orgánico, amoniacal y óxidos) <sup>3)</sup>	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	<20	<15	Todos
Fenoles <sup>3)</sup>		mg/l	<0.15	<0.10	Todos

1) En cualquier momento  
 2) Promedio de las determinaciones realizadas en un año conforme a la frecuencia de monitoreo establecida en el artículo 11 de este Reglamento  
 3) Parámetro exigido únicamente para refinerías dentro del programa de monitoreo ambiental interno rutinario

**Fuente:** RAHO-1215, anexo 2, tabla 4-a.

**4.b) Límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor (inmisión). (Cuadro 2.9.)**

**Cuadro 2.9.** Límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor (inmisión).

<b>b) INMISION (punto de control en el cuerpo receptor)</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible <sup>1)</sup></b>	<b>Promedio anual <sup>2)</sup></b>	<b>Aplicación</b>
Temperatura <sup>4)</sup>		°C	+3°C		General
Potencial hidrógeno <sup>5)</sup>	pH	---	6.0<pH<8.0	6.0<pH<8.0	General
Conductividad eléctrica <sup>6)</sup>	CE	µS/cm	<170	<120	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<0.5	<0.3	General
Demanda química de oxígeno <sup>7)</sup>	DQO	mg/l	<30	<20	General
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.0003	<0.0002	General

**1)** En cualquier momento  
**2)** Promedio de las determinaciones realizadas en un año conforme a la frecuencia de monitoreo establecida en el artículo 11 de este Reglamento.  
**4)** A una distancia o en un radio de 300 metros, comparado con un punto representativo en el cuerpo receptor aguas arriba a la entrada del efluente.  
**5)** De presentar el cuerpo receptor un pH natural menor a los límites establecidos, se pueden disminuir los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.  
**6)** De presentar el cuerpo receptor una conductividad eléctrica natural superior a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.  
**7)** De presentar el cuerpo receptor una DQO natural superior a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.

**Fuente:** RAHO-1215, anexo 2, tabla 4-b.

El estudio se centra en el tratamiento del agua contaminada, procedente del lavado de suelos impregnados con hidrocarburos, como se trata de un punto de descarga de efluentes, se creyó conveniente trabajar con la tabla 4.a, la que muestra los parámetros y límites permisibles que se deben medir en el punto de descarga de efluentes.

Se seleccionaron nueve parámetros, los cuales se valoran cuando las descargas son en el continente, estos parámetros fueron sujeto de análisis durante todo el proceso investigativo y los resultados obtenidos fueron comparados con sus respectivos límites permisibles.

## **2.8. PARÁMETROS DE ANÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS.**

Parámetro es una variable o propiedad física, química, biológica, combinación de las anteriores, elemento o sustancia que sirve para caracterizar la calidad del recurso agua, aire o suelo. De igual manera sirve para caracterizar las descargas o emisiones hacia los recursos mencionados.

### **2.8.1. PARÁMETROS FÍSICOS**

Son los que definen las características del agua, dentro de este grupo están los llamados parámetros organolépticos, que son los captados por los órganos humanos de la vista, nariz y gusto, entre los cuales tenemos:

- Sabor
  - Olor
  - Color
  - Turbidez
  - Conductividad
  - Temperatura
- } *P. organolépticos*

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color en el agua se debe principalmente, a la presencia de minerales disueltos, plancton, ácidos húmicos y materiales turbios.

El olor y sabor son una determinación subjetiva, no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida, estos parámetros son de especial interés cuando se trata de aguas potables dedicadas al consumo humano.

La turbidez se debe a la presencia de materia particulada y es una medida de la capacidad del agua para dispersar la luz.

Se define a la conductividad eléctrica como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica. Indica la presencia de materia en el agua y de la cantidad de sales disueltas.

### **2.8.2. PARÁMETROS QUÍMICOS**

- pH
- Dureza
- Alcalinidad
- Coloides
- Acidez mineral
- Sólidos Disueltos
- Sólidos en Suspensión
- Sólidos Totales
- Residuo Seco
- Cloruros
- Sulfatos
- Nitratos
- Fosfatos
- Fluoruros
- Sílice
- Bicarbonatos y Carbonatos
- Otros Componentes Aniónicos
- Sodio
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Hierro
- Manganeso
- Metales tóxicos
- Gases Disueltos
- Hidrocarburos totales

### **2.8.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS**

Estos parámetros son los que indican contaminación orgánica y biológica; producidos por la actividad natural y la humana; la contaminación orgánica de las aguas se origina por la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes, etc.

La contaminación producida por parámetros biológicos suele ser más difícil de controlar, en relación a la química o física; además los tratamientos deben estar regulándose constantemente. Algunos parámetros son:

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Carbón Orgánico Total

#### **2.8.4. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO**

##### **2.8.4.1. pH**

El pH es un parámetro que nos indica la concentración de protones o iones hidrógeno  $H^+$  presentes en una disolución acuosa.

La escala de pH puede tomar valores de 0 a 14, siendo el punto **pH=7**, el correspondiente a una disolución neutra, esto es, sin carácter ácido ni alcalino.

Para valores menores a 7 se trata de una disolución de carácter ácido, siendo mayor la acidez cuanto menor sea el valor de pH registrado. Por el contrario, una disolución cuyo pH sea mayor que 7 será una disolución alcalina o básica, siendo mayor el carácter alcalino cuanto mayor sea el valor del pH.

##### **2.8.4.2. Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica del agua se refiere a la mayor o menor resistencia del agua a permitir el paso de la electricidad.

El agua en estado puro no presenta prácticamente carácter conductor, debido al bajo grado de disolución iónica que presenta. Por lo tanto para que su conductividad aumente será preciso que haya compuestos disueltos en el agua, estos compuestos los

constituyen en su mayoría las sales minerales. Una medida de la conductividad de un agua nos dará por tanto una estimación a cerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes, lo que es de utilidad en muchos sectores, como en la agricultura o en la ingeniería ambiental, pero no indicará la presencia de contaminación orgánica de un agua en el caso que exista, pues las materias orgánicas del agua apenas modifican la conductividad de ésta.

Se debe tener en cuenta que la conductividad es una función que varía con la temperatura. Se mide en  $\mu\text{S} / \text{cm}$ .

#### **2.8.4.3. Sólidos totales (ST)**

Es el valor resultado de la suma de los sólidos disueltos y sólidos en suspensión.

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua; el origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales.

Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. El proceso de tratamiento, entre otros, es la ósmosis inversa.

Los sólidos en suspensión son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración y decantación. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación.

#### **2.8.4.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse en un curso de agua captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Estas necesidades de  $\text{O}_2$  al margen de todo proceso biológico, se denominan DQO.

La demanda puede ser muy rápida como es el caso de los sulfitos en presencia de un catalizador, y entonces recibe el nombre de DIO,

demanda inmediata de oxígeno, o más lenta, llamándose demanda de oxígeno por autooxidación, DAO.

La medida de la DQO es una estimación de los materiales oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros).

Es un test particularmente útil para apreciar el funcionamiento de las estaciones depuradoras.

La DQO es función de las características de los compuestos presentes, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc., por lo que la interpretación y la reproducción de los resultados no son satisfactorios más que bajo unas condiciones metodológicas bien definidas y estrictas.

Este indicador no es fiable en presencia de cloruro.

#### **2.8.4.5. Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)**

Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, a los TPH se los han dividido en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua, estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo, cada fracción contiene muchos productos químicos individuales como el hexano, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina, y fluoreno, y otros productos de petróleo o componentes de gasolina. Algunas muestras pueden contener solamente algunas, o una mezcla de estas sustancias químicas.

Ciertos compuestos de los TPH pueden perjudicar al sistema nervioso, pueden causar una afección a los nervios llamada "neuropatía periférica", que consiste en adormecimiento de los pies y las piernas. Otros compuestos de los TPH pueden producir efectos a la sangre, al sistema inmunitario, los pulmones, la piel y los ojos.

Estudios en animales han demostrado efectos a los pulmones, el sistema nervioso central, el hígado, los riñones, la reproducción y el

desarrollo de feto, a causa de la exposición a compuestos de los TPH.

#### **2.8.4.6. Metales pesados**

Los más comunes son arsénico, cadmio, plomo, cromo, bario y selenio, se consideran compuestos indeseables ya que algunos de ellos están clasificados como carcinogénicos; todos deben ser seriamente controlados en el origen de la contaminación.

Los metales pesados que se miden en aguas contaminadas con hidrocarburos son Ba, Cr, Pb y V.

El **Bario (Ba)** combinado con otras sustancias químicas, como el azufre, carbono y oxígeno, forman compuestos de bario, los cuales son usados por las industrias de gas y petróleo para fabricar lodos de perforación. Los lodos de perforación facilitan la perforación a través de rocas manteniendo lubricada a la barrena. También se usan para fabricar pinturas, ladrillos, cerámicas, vidrio y caucho.

El tiempo que el bario permanecerá en el aire, el suelo, el agua o los sedimentos dependerá de la forma de bario que se ha liberado, el sulfato o carbonato de bario, que no se disuelven muy bien en agua, pueden permanecer en el ambiente mucho tiempo, provocando que los peces y otros organismos acuáticos lo acumulen.

La ingestión durante un período breve de cantidades de bario más altas que las que ocurren normalmente en los alimentos y el agua puede producir vómitos, calambres estomacales, diarrea, dificultad para respirar, aumento o disminución de la presión sanguínea, adormecimiento de la cara y debilidad muscular. La ingestión de cantidades muy altas de compuestos de bario que se disuelven fácilmente puede alterar el ritmo del corazón, producir parálisis y posiblemente la muerte.

El **Cromo (Cr)** es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse en forma de líquido, sólido o gas. Las formas más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor ni olor especial.

El cromo se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua luego de ser liberado durante su manufactura, generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua; los peces no acumulan en el cuerpo mucho cromo del agua.

La exposición al cromo ocurre al ingerir alimentos o agua contaminados o al respirar aire contaminado en el trabajo; niveles altos de cromo (VI) pueden dañar la nariz y producir cáncer, ingerir niveles altos de cromo (VI) puede producir anemia, dañar el estómago o los intestinos.

El **Plomo (Pb)** es un metal gris-azulado se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente, la mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. Tiene usos diferentes como en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. El uso del plomo como aditivo para gasolina se prohibió el año 1996 en Estados Unidos.

El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. Cuando se libera plomo al aire, puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo, una vez que cae se adhiere a partículas del suelo en otros casos se moviliza desde el suelo al agua subterránea lo dependerá del tipo de compuesto y de las características del suelo. Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala; el plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del cuerpo, su exposición prolongada puede causar un deterioro del sistema

nervioso, debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos; produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo, en hombres puede alterar la producción de espermatozoides.

El **Vanadio (V)** es un compuesto que se encuentra generalmente en forma de cristales, se combina con otros elementos como oxígeno, sodio, azufre o con cloruro para formar compuestos de vanadio que pueden encontrarse en la corteza terrestre y en las rocas, en ciertos minerales de hierro y en depósitos de petróleo crudo.

El vanadio entra al medio ambiente principalmente desde fuentes naturales y de la incineración de combustibles de petróleo, permanece largo tiempo en el aire, el agua o el suelo. No se disuelve muy bien en agua, se combina con otros elementos y partículas, se adhiere a sedimentos del suelo y se ha encontrado en bajos niveles en plantas, pero es improbable que se acumule en los tejidos de animales.

La exposición a altos niveles de vanadio puede causar efectos perjudiciales para la salud, al respirar altos niveles de vanadio puede afectar a los pulmones, la garganta y los ojos.

No se conocen los efectos de ingerir vanadio en seres humanos, en animales que ingirieron grandes cantidades de vanadio fallecieron, niveles más bajos administrados en el agua a hembras preñadas causaron leves defectos de nacimiento; algunos animales que respiraron o ingirieron vanadio por largo tiempo se observaron lesiones leves del hígado y los riñones.

### 3. CAPITULO III: LÍNEA BASE

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El Ministerio del Ambiente, a través del Proyecto de Reparación Ambiental Y Social (PRAS<sup>23</sup>), tiene como propósito ejecutar planes, programas y proyectos que fortalezcan las capacidades locales (gobiernos, instituciones locales y sociedad civil) en las zonas afectadas, para desarrollar acciones coordinadas orientadas a prevenir la ocurrencia de nuevos daños ambientales y sociales asociados a la industria del petróleo y la minería, remediar sus impactos negativos en las poblaciones y los ecosistemas, utilizando estratégicamente los recursos en la perspectiva de lograr la restauración ecológica, es decir la recuperación de cada uno de los componentes ambientales y sociales que se encuentran degradados a causa de actividades humanas, hasta un estado estable y autosuficiente (MAE, 2008).

El PRAS realizó una invitación dirigida a todas las universidades del Ecuador, para que realicen propuestas de remediación de los pasivos ambientales que existen en la región amazónica. La Universidad Técnica del Norte a través del Centro de Transferencias de Tecnologías de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales CTT-FICAYA, fue designada para remediar la contaminación producida por el derrame de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13.

La Universidad Técnica del Norte será la encargada de **proponer e innovar** según corresponda las mejores **técnicas de remediación Físicas, Químicas y Biológicas** desde una perspectiva segura con el ambiente (Investigación Tecnológica Aplicada).

---

<sup>23</sup> Proyecto de Reparación Ambiental Y Social

El CTT-FICAYA, en base a los resultados de la caracterización deberá plantear las opciones que se van a usar para remediar, esto es una parte fundamental del sub programa de remediación de sitios contaminados.

Los resultados del avance y eficacia de cada proceso de remediación tienen que estar relacionados con indicadores ambientales de cumplimiento (análisis de laboratorio), finalmente en base a estos resultados se definirá cuál es la tecnología más eficiente para remediar este tipo de fuente de contaminación, los criterios a considerar son: duración, costo y eficiencia del proceso (reducción de la concentración de sustancias contaminantes).

Además deberá socializar el proyecto y determinar los mecanismos de monitoreo y evaluación periódica en conjunto con la población y autoridades locales, de preferencia técnicos responsables del área ambiental y demás actores sociales de la zona.

El CTT-FICAYA tiene previsto desarrollar un sinnúmero de investigaciones en los ecosistemas afectados por la contaminación de la actividad petrolera en la Región Amazónica. Todo esto con la finalidad de desarrollar tecnologías de biorremediación eficientes que permitan recuperar a corto y mediano plazo las condiciones ambientales de los ecosistemas afectados.

Con la finalidad de efectuar una remediación integral de la zona afectada por el derrame, se ha previsto fomentar el desarrollo de pequeños proyectos productivos a fin de generar alternativas de desarrollo socioeconómico, las cuales se conviertan a futuro en microempresas productivas que permitan mejorar los ingresos económicos de sus habitantes.

La investigación tecnológica aplicada a todo nivel permitirá identificar y desarrollar técnicas y métodos de remediación y manejo integral de los recursos socio ambientales y productivos, así como también se propenderá a elevar el grado de concienciación ambiental de los pobladores; todo esto permitirá alcanzar dos objetivos importantes dentro del proyecto, como son: reducir los atentados ocasionados contra el ambiente y sus propiedades; y, potencializar el manejo de los sistemas productivos los que permitan mejorar las condiciones de vida de los habitantes.

### 3.2. UBICACIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA Y CARTOGRÁFICA

**País:** Ecuador

**Región:** Oriente

**Provincia:** Sucumbíos

**Cantón:** Lago Agrio

**Parroquia:** Pacayacu

**Área:** Libertador

**Campo:** Shushuqui

**Coordenadas geográficas:** 0° 03' 30.44" N, 76° 34' 56.91" W

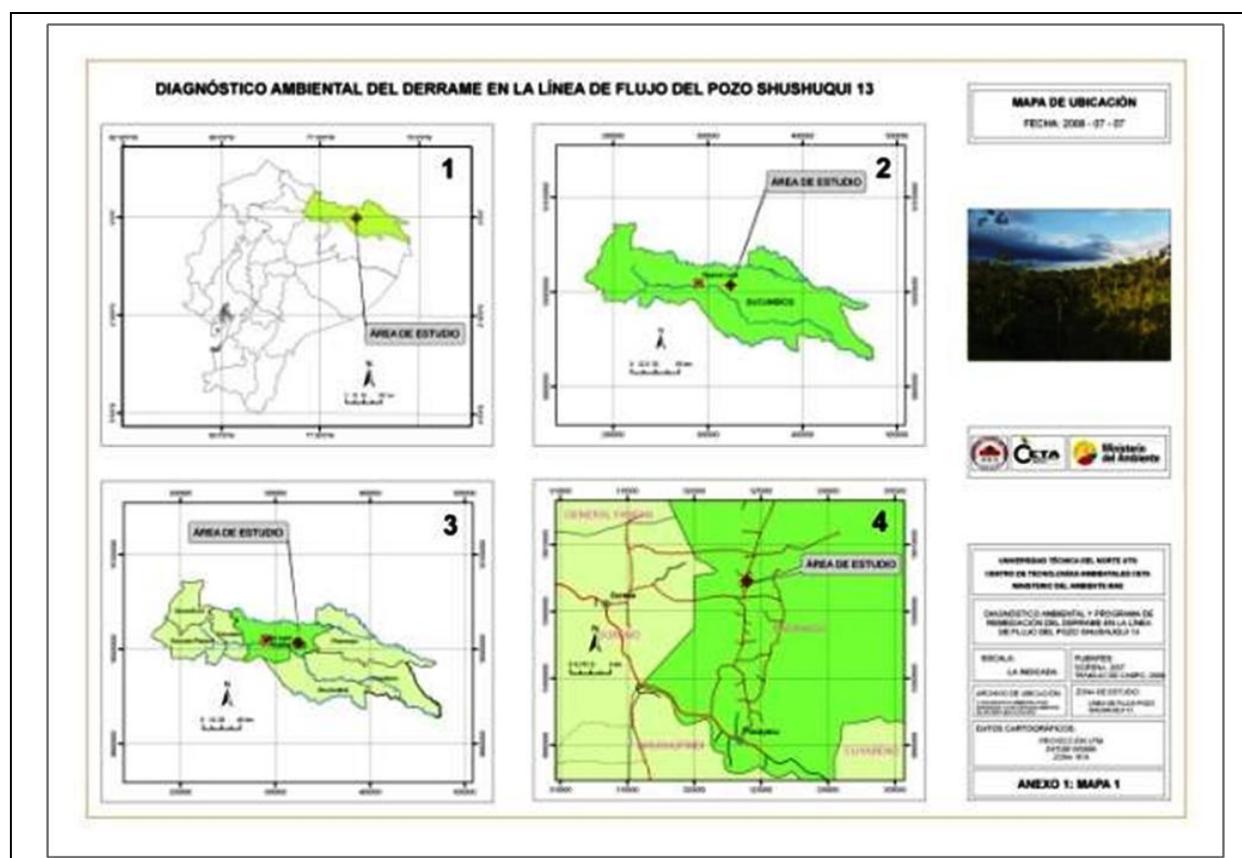
**Coordenadas UTM:** 323906 E, 1006445 N

**Datum:** WGS 84

**Zona:** 18 Sur, Elipsoide WGS 84

**Superficie sujeta a remediación:** 2 hectáreas

**Mapa 3.1.** Ubicación de la zona de investigación.

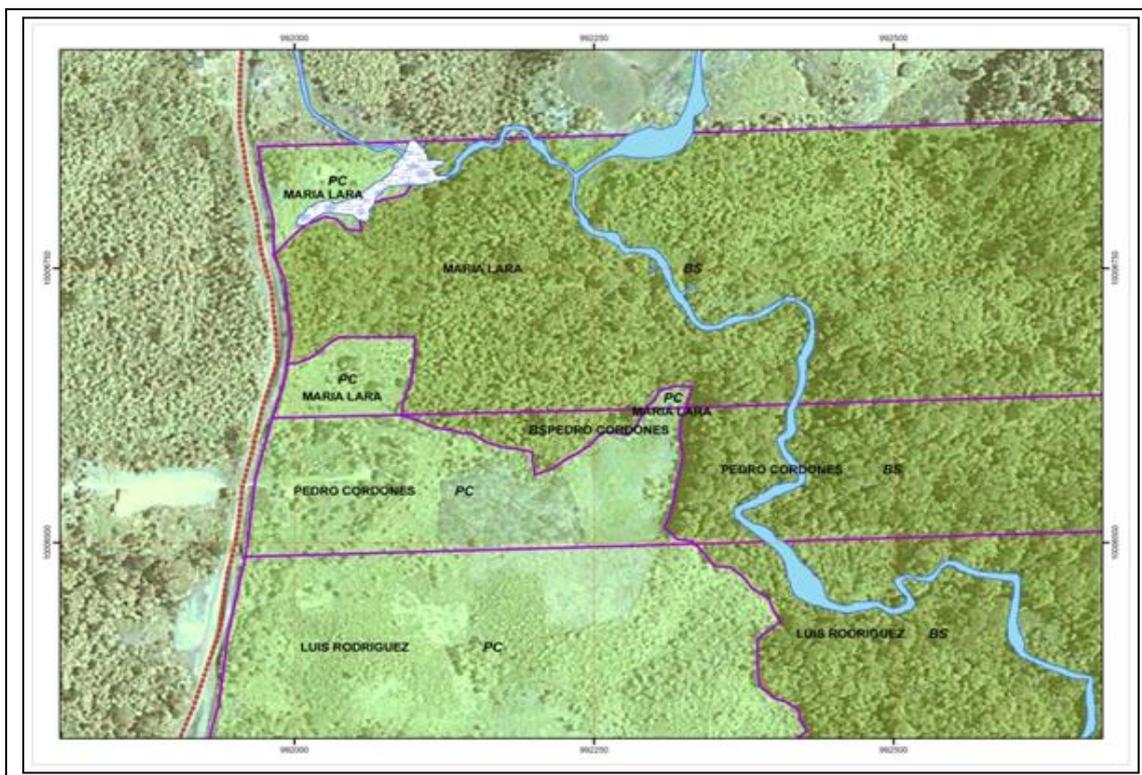


**Elaboración:** CETA – UTN

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO**

Luego de haber efectuado la caracterización ambiental del área de influencia del proyecto se ha identificado una afección negativa de gran magnitud a la micro cuenca del Río San Vicente, que se origina en la parte baja de la estación de bombeo Shushuqui, pozo 13, donde nace el estero principal que posteriormente conforma el río San Vicente, el cual atraviesa ecosistemas frágiles como humedales y bosque secundario, en donde se han evidenciado constantes derrames petroleros en los últimos quince años, los cuales han ocasionado impactos ambientales en toda el área de influencia de la micro cuenca. Esta contaminación intercepta al estero afectado por el último derrame producido en la línea de flujo Shushuqui 13, en las inmediaciones de propiedad de la señora María Lara, razón por la cual se ha previsto realizar el estudio Hidrológico de la parte alta de la micro cuenca, así como también el estudio de ingeniería y el diseño de la obra civil que consiste en la construcción de los siguientes requerimientos: represa, trampa de aceites, desarenador, tanque rompe presión, estabilizador de corriente y el sistema de filtros, que estará ubicada antes del ingreso del caudal al estero principal, con la finalidad de separar y almacenar la película de aceite producto de la contaminación hidrocarburífera; considerando que esta área se encuentra en una zona de altos riesgos de derrames, la infraestructura también permitirá prevenir desastres mayores en la parte baja de la micro cuenca. Adicionalmente se propuso remediar las áreas afectadas a través de proyectos pilotos de INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA APLICADA.

**Mapa 3.2.** Área afectada por el derrame en la línea de flujo Shushuqui 13.



Elaboración: CETA<sup>24</sup> – UTN

### 3.4. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

#### 3.4.1. Geología Local

En el área de estudio se identificaron las siguientes unidades litológicas:

##### 3.4.1.1. Depósitos Aluviales

Son producto de los materiales arrastrados por el agua y se observaron en los lechos de los diferentes drenajes, están representados por materiales limo-arcillosos y pequeños rodados.

<sup>24</sup> Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

### **3.4.1.2. Depósitos Coluviales**

Son productos del arrastre de los materiales de las partes altas y depositados en las partes bajas formando las zonas de humedales, están representados por arcillas-limosas con materia orgánica y se encuentran muy saturados.

### **3.4.1.3. Arcillas**

- Arcillas café-rojizas, muy plásticas, con espesor de hasta 1,00 m de profundidad, en éstas se encuentran el petróleo derramado, en algunos sitios.
- Arcilla habana-rojiza, se encuentra bajo las arcillas café rojizas, son plásticas y consolidadas.

### **3.4.1.4. Areniscas**

Areniscas de grano fino color amarillento producto de la meteorización, se presentan bastante consolidadas y compactas, además se observan impregnaciones de petróleo, su espesor observado es de hasta 2.50 m

## **3.4.2. Geomorfología Local**

En el sector se encuentran superficies onduladas con diferencias de nivel de 25 m, cubiertas con pastizales, frutales y especies arbóreas, las mismas que cubren la mayor parte del área. Presentan pendientes hasta de 40%. Pertenecen a un ambiente morfoestructural y denudativo.

Las superficies planas están conformadas por relieves planos que constituyen los humedales o pantanos, situados en las partes bajas con pendientes de 18%.

Las pendientes planas pertenecen a los ambientes aluviales, en donde se produce el arrastre de sedimentos y el depósito en estas zonas

### 3.4.3. Climatología

En el cuadro 3.1., se muestran los valores promedio de precipitación, evapotranspiración y temperatura media anual de la Estación Pacayacu, la misma que se encuentra a 12 km del área afectada.

**Cuadro 3.1.** Valores promedios mensuales de la Estación Pacayacu

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	x= AÑO
TEMPERATURA (°C)	27,2	27,1	27,3	27	27,3	27,4	27	27,1	27,1	27,3	27	27,1	27,2
PRECIPITACIÓN (mm)	245	260	271	300	261	229	201	201	207	221	241	281	3.035,1
ETP (mm)	136,0	136	136,5	135	136,5	136,5	137	135,5	135,5	136,5	136	135,5	1.632,0

**Fuente:** INAMHI, 2000. **Elaboración:** CETA UTN

### 3.4.4. Hidrología

Los factores físicos que modelan el relieve han conformado una red hidrográfica importante, constituida por humedales, esteros y riachuelos que aportan caudales significativos en los cauces de los afluentes principales de las microcuencas hidrográficas.

En el área de estudio se registraron cinco esteros con aportes de caudales significativos que alimentan los tres humedales que abarcan un área de 18400 m<sup>2</sup>, ecosistemas de gran importancia ecológica y biológica de la zona, en donde se desarrollan especies de flora, fauna y microorganismos que regulan el equilibrio ecológico.

Los esteros identificados fueron aforados para determinar el caudal promedio que aportan a las cuencas bajas, a continuación se detalla en el cuadro 3.2 de aforos de los esteros:

**Cuadro 3.2.** Caudales promedios de esteros afectados

Identificación	Aforo	Coordenadas UTM		Caudal aforado (l/s)
		x	y	
Estero principal	1	323994	10006857	74.87
Estero aportante secundario	2	323999	10006846	40.37
Estero aportante secundario	3	323150	10006714	36.96
Estero aportante secundario	4	324140	10006737	3.88
Estero aportante secundario	5	324164	10006713	43.88

**Elaboración:** Centro de Tecnologías Ambientales CETA UTN, 2009.

### 3.4.5. Paisaje

El recurso paisaje presente en el área comprende los recursos bióticos, abióticos y socioeconómicos, presentándose mayormente mosaicos de formaciones alteradas por el hombre.

En el campo se identificó los siguientes tipos de paisajes:

- Paisaje Natural que comprende la mayor parte del área, el mismo que está representado por el bosque secundario y los humedales.
- Paisaje Agrícola, constituido por las áreas dedicadas a actividades agropecuarias de subsistencia tales como pastizales y producción de frutales.
- Paisaje Semi-urbano, representado por las vías, viviendas, plataformas petroleras y las líneas de flujo.

Los Paisajes Agrícola y Semi-urbano son los que han sido afectados disminuyendo a la calidad estética del sector, en los mismos que se encuentran algunos sitios de contaminación producto del derrame de petróleo que conforman los pasivos ambientales.

### **3.5. EVALUACIÓN DEL COMPONENTE ABIÓTICO**

Generalmente, el mayor impacto de un derrame petrolero se produce en los componentes abióticos del sistema afectado. Esto se debe a que el agua, los suelos y los sedimentos sufren la descarga directa del crudo y aún cuando éste sea recuperado en gran porcentaje durante las labores de contingencia, los remanentes terminan siendo difíciles de eliminar, afectando negativamente la calidad y las propiedades de estos elementos ambientales y, a través de ellos, la salud de las plantas, los animales y los seres humanos.

#### **3.5.1. Calidad de Agua**

Se entiende como “calidad del agua natural” al conjunto de propiedades físicas y químicas, así como al conjunto de sustancias disueltas y en suspensión que posee el agua como resultado de su interacción y equilibrio con los demás componentes ambientales. Esta calidad, resultante del ciclo hidrológico repetido indefinidamente, permite que el agua se constituya en el hábitat de numerosas especies vivas.

En el estudio hidrológico de la zona se identificaron los cuerpos de agua que conforman la microcuenca del río San Vicente, así como sus coordenadas y su aforo; de acuerdo al sitio en donde se produjo el derrame se puede afirmar que el curso de agua más afectado es el llamado “Estero principal” del cuadro 3.2., el cual sufrió la descarga directa del derrame.

#### **3.5.2. Calidad de Suelos**

La contaminación se asocia con la entrada de sustancias que son depositadas a través de diferentes vías. El suelo puede ser un receptor primario o secundario según reciba depósitos directos como aplicación de plaguicidas, derrames, etc.; o indirectos como depósitos

atmosféricos. Los efectos de estos depósitos sobre las funciones que cumple un suelo en el ambiente dependerán en gran medida de la unidad de suelo en la cual se descarguen, ya que los diferentes tipos de suelo difieren en su vulnerabilidad.

En el caso de derrames de petróleo, la calidad del suelo será afectada de manera directa e inmediata por los efectos que produce el petróleo sobre la vida vegetal, animal y microbiológica. Esta afectación se prolongará en el tiempo y en la extensión del área afectada debido a la migración superficial y vertical del crudo.

### **3.5.3. Calidad de Sedimentos**

Los sedimentos de los sistemas acuáticos son el resultado de diferentes interacciones físico-químicas entre especies químicas disueltas en el agua, los minerales, los compuestos orgánicos y la biota del entorno, por lo que constituyen un excelente registro histórico de la afectación ocurrida en el medio acuático por el derrame sucedido en el área. Adicionalmente, con frecuencia se produce la situación en que el sedimento se transforma en un depósito de sustancias contaminantes como hidrocarburos y metales pesados, en este caso que se liberan constantemente hacia el entorno y pueden generar problemas no esperados.

## **3.6. DESCRIPCIÓN DE FLORA Y FAUNA.**

### **3.6.1. Flora**

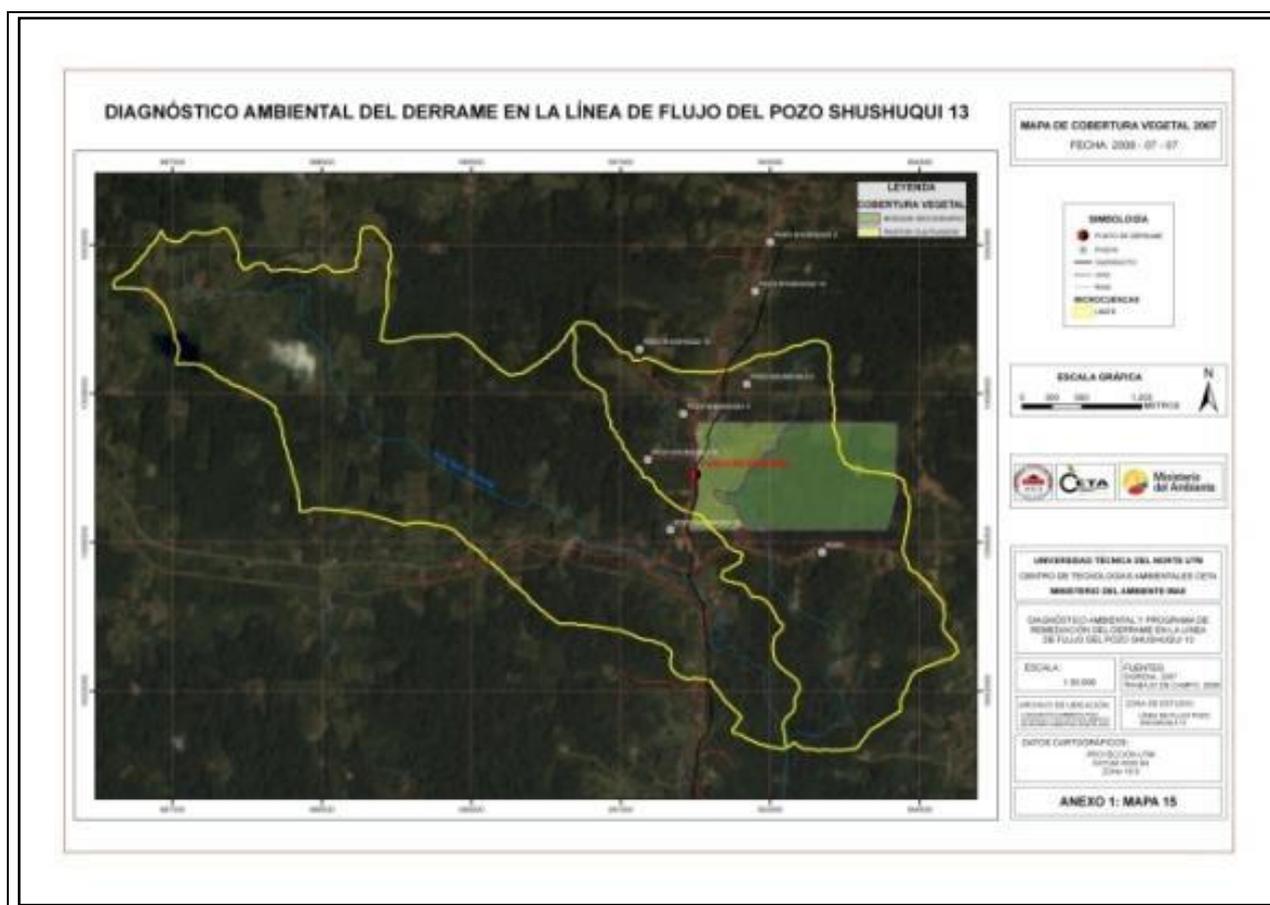
El levantamiento de información para el presente trabajo, realizado del 24 hasta el 29 de junio de 2008, se enfocó a tres aspectos: componente florístico, faunístico y evaluación de las condiciones ecológicas, para lo cual se seleccionaron cuatro sitios de muestreo y toma de datos los

mismos que se encuentran debidamente georeferenciados y fotodocumentados.

Para el componente florístico, se realizó un inventario de la vegetación en cada sitio, que consistió en la identificación *in situ* y fotodocumentación de materiales botánicos representativos del área, sobre una superficie de 100 m<sup>2</sup> (transectos de 50 x 2 m). También se efectuaron entrevistas a comuneros a fin de establecer la utilidad de las plantas del área, así como su nombre vulgar. La identificación de las especies botánicas se llevó a cabo con la ayuda de claves dicotómicas actualizadas y por comparación con material herborizado del Herbario de la Universidad Técnica del Norte.

Se empleó el mapa de cobertura vegetal para la aplicación de transectos en campo (Mapa 3.3.).

**Mapa 3.3.** Mapa de Cobertura Vegetal.



**Elaboración:** CETA – UTN

### 3.6.1.1. Ecosistemas Presentes y Unidades de Cobertura Vegetal

Según Palacios *et al.* 1999, la zona de estudio corresponde a la Subregión Norte y Centro de la amazonía ecuatoriana. El área comprende el denominado Sector de Tierras Bajas y la clasificación de su cobertura vegetal es la de Bosque siempreverde de tierras bajas.

Este tipo de vegetación incluye los bosques sobre colinas medianamente disectadas y bosques sobre tierras planas bien drenadas, es decir no inundables, y los bosques en tierras planas pobremente drenados. Los dos últimos podrían ser caracterizados como tipos de bosques diferentes, pero se requiere de más información para clasificarlos independientemente. Los bosques siempreverdes amazónicos son altamente heterogéneos y diversos, con un dosel que alcanza los 30 m de altura, por lo general, hay más de 200 especies mayores a 10 cm de DAP<sup>25</sup> en una hectárea (Cerón 1997; Palacios, 1997; Valencia *et al.* 1994; Valencia *et al.* 1998), claro está, en bosques no intervenidos. En el sitio de estudio gran parte de vegetación natural ha sido talada para dar paso a cultivos debido a la bondad de los suelos, quedando pocos relictos de bosques naturales.

### 3.6.1.2. Aspectos Florísticos y Ecológicos

El área está representada por dos zonas:

- Zona dedicada al pastoreo con pendientes pronunciadas que van de 30% a 50% en donde la predominancia es de gramalote (*Paspalum fasciculatum*), esta misma zona presenta en su parte baja un humedal con flora y fauna propia de ecosistemas palustres por lo que constituye un hábitat especialmente sensible.
- Zona intervenida en la que el bosque se ha regenerado parcialmente con predominio de especies indicadoras de

---

<sup>25</sup> Diámetro a la Altura de Pecho.

intervención (guarumos, psicotrias, pipers), la topografía es relativamente plana con la presencia de esteros como receptores del agua del pantano y otros causas naturales del área.

En toda el área de estudio las principales preocupaciones ecológicas son la pérdida de hábitat en el caso del humedal y el bosque en regeneración, debido directamente al derrame. La integridad ecológica de la zona además puede verse afectada debido a introducción de flora exótica, colonización y ampliación de la frontera agrícola.

### **3.6.1.3. Especies en Peligro o Vulnerables**

Las especies dominantes en toda la zona de estudio son aquellas propias de áreas intervenidas, es decir amplia y agresivamente colonizadoras en áreas donde el bosque ha sido reemplazado por cultivos. Los pastos introducidos cubren la mayor superficie de la zona por lo que no se registraron especies en peligro o vulnerables según el libro rojo de plantas endémicas del Ecuador (Valencia, et al. 2000).

## **3.6.2. Fauna**

### **3.6.2.1. Avifauna**

La avifauna en general fue registrada mediante observación directa, recorridos en búsqueda de rastros realizada tanto en el área de pastizal como en el bosque secundario y entrevistas realizadas a los comuneros del sector, a través de la utilización de guías ilustradas a color de las especies representativas de este ecosistema.

El componente avifaunístico se lo realizó por observación directa en los principales senderos del área y se registró fotográficamente los avistamientos, nidos y otras evidencias de estas especies en el sitio.

### **3.6.2.2. Mastofauna**

El componente de mastofauna se lo efectuó mediante encuestas y entrevistas a los comuneros a través de la utilización de guías ilustradas a color de los mamíferos representativos del ecosistema. Además se realizó observación directa por los principales senderos del área y se registró fotográficamente los avistamientos así como las huellas, madrigueras y otras evidencias de estas especies en el sitio.

La contaminación de los esteros constituye un impacto permanente sobre la comunidad de mastofauna, pero su efecto requiere un monitoreo continuo que permita establecer cambios en el grupo en estudio.

La influencia antropogénica en el área se evidencia en la disminución de avistamientos de especies como guanta (*Cuniculus paca*), guatusa (*Dasyprocta fuliginosa*), armadillo (*Dasyopus sp.*), y danta (*Tapirus terrestris*) por los moradores del área en estudio.

La cacería esporádica de la guanta (*Cuniculus paca*), guatusa (*Dasyprocta fuliginosa*) y armadillo (*Dasyopus sp.*), es una actividad común en la zona, con fines de alimentación o venta de su carne en el mercado de Lago Agrio. También se capturan para comercializarlos como mascotas a especies como la ardilla (*Sciurus sp.*), cuchucho (*Nasua nasua*) y mono chichico (*Callithrix pygmaea*), siendo este último el más solicitado por los compradores; de acuerdo a manifestaciones del sector indican que la venta de una docena de estos monos les conlleva una ganancia de 70 dólares.

### **3.6.2.3. Peces, Reptiles y Anfibios**

Al igual que los componentes anteriores, el diagnóstico de peces, reptiles y anfibios se lo efectuó mediante encuestas y entrevistas a los comuneros a través de la utilización de guías ilustradas a color de

las especies representativas de dichos ecosistemas. Además se realizó observación directa por los principales senderos del área y se registró fotográficamente los avistamientos así como otras evidencias de estas especies en el sitio.

La especie de peces conocida localmente como “sardinilla” constituye una especie de alta resistencia a aguas contaminadas y su presencia se la registra a lo largo de todos los cauces de agua. De acuerdo a los moradores del sector se encuentran serpientes, principalmente las conocidas localmente como lora (*Bothriechis schlegelii*) y equis (*Bothrops atrox*) en los sembríos de café, pero son poco frecuentes. En el caso de anfibios su presencia es escasa. En el área de bosque secundario se registró una sola especie del género *Hyla*, y ausente en el área de humedal.

Los anfibios y peces constituyen especies altamente amenazadas por la contaminación tanto del área de humedal como de los esteros.

De acuerdo a la información proporcionada, la captura de peces en los esteros de la zona constituía hace años una actividad común entre los pobladores, pero debido a la continua contaminación de estos cauces de agua producida por derrames de hidrocarburos la han eliminado de su vivir cotidiano.

### **3.7. SITUACIÓN SOCIO AMBIENTAL DEL CAMPO**

#### **3.7.1. Tenencia de la Tierra y Organización Social**

En el sector Shushuqui se han asentado desde hace más de 30 años, 32 familias, en su mayoría provenientes de la Costa, de origen campesino que se han dedicado a la explotación de los recursos naturales y a las actividades agropecuarias. Es así que en gran parte disponen de fincas de 25 y 30 hectáreas, pero sin escrituras, las cuales

las han destinado en su inicio a la extracción selectiva de madera para posteriormente dedicarlas a actividades agrícolas y pecuarias de subsistencia.

En cuanto a la organización social y a pesar de ser pocas familias, la comunidad se encuentra dividida en dos grupos definidos; La pre-cooperativa 10 de Abril representada por el señor Alejandro Espinosa; y, la otra pre-cooperativa Nuevo Porvenir representada por el señor Pedro Cordones. Estas sociedades han fomentado su división por divergencia de criterios, persiguiendo objetivos diferentes.

Sin embargo, al momento de tratar el problema de los derrames las dos coinciden en la misma demanda, que es la indemnización de los afectados por parte de la empresa, en este caso PETROPRODUCCIÓN, así como también se han generado políticas locales en las que se establece que los trabajos de remediación que desarrollan las empresas del ramo deben contratar a los propietarios de los predios afectados.

Todo esto ha generado un grave problema social, ya que algunas personas de ésta y otras zonas han encontrado una forma de sobrevivir a través de atentados a las tuberías secundarias que conducen el crudo, provocando derrames que generan impactos ambientales de gran magnitud, pero que al mismo tiempo representan fuentes de empleo para la remediación y posiblemente indemnizaciones para unos cuantos. El cuadro 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 aporta datos de caracterización socioeconómica del cantón.

**Cuadro 3.3.** Datos Generales a Nivel Cantonal (Lago Agrio).

GENERAL		
Superficie de UPAs - Total	Hectáreas	132.813,50
Número de UPAs - Total	Número	3.391,10
Viviendas	Número	15,273
Viviendas- Urbano	Número	8,652
Viviendas- Rural	Número	6,621
Población (habitantes)	Número	66,788
Población (habitantes)- Urbano	Número	34,106
Población (habitantes)- Rural	Número	32,682

**Fuente:** Sistema Integrado de Indicadores Sociales SIISE 2007

**Cuadro 3.4.** Detalle desarrollo capital físico

<b>DESARROLLO CAPITAL FÍSICO</b>		
Superficie/habitantes rurales	(Has/Hab)	1,6
Superficie/habitantes totales	(Has/Hab)	0,8
UPAs con riego	Porcentaje	0
Superficie con riego	Porcentaje	0
UPAs con acceso a electricidad	Porcentaje	23
Tractores, cosechadoras, sembradoras	Porcentaje	0
Vehículos	Porcentaje	1,1
Red de alcantarillado	Porcentaje	32
Servicio de recolección de basura	Porcentaje	50
Sistema de eliminación de excretas	Porcentaje	65
Servicio telefónico	Porcentaje	13
Déficit de servicios residenciales básicos	Porcentaje	91

**Fuente:** Sistema Integrado de Indicadores Sociales SIISE 2007

**Cuadro 3.5.** Detalle desarrollo productivo.

<b>DESARROLLO PRODUCTIVO</b>		
Superficie con fertilizantes - cultivos total	Porcentaje	9,6
Superficie con pesticidas - cultivos total	Porcentaje	9,6
Superficie con semilla mejorada - cultivos total	Porcentaje	1,9
Cultivos permanentes	Porcentaje	14
Cultivos transitorios y barbecho	Porcentaje	4
Pastos naturales y cultivados	Porcentaje	19,5
Otros usos en cultivos	Porcentaje	62,6
Solo autoconsumo	Porcentaje	5,5
Ventas al consumidor	Porcentaje	3,8
Ventas al intermediario	Porcentaje	89,9
Ventas al procesador	Porcentaje	0,4
Ventas al exportador	Porcentaje	0,4
Titularización de la tenencia de la tierra	Porcentaje	63,2
UPAs con crédito	Porcentaje	5
UPAs con acceso a asistencia técnica	Porcentaje	6
PEA dedicada a la agricultura, caza y pesca (#)	Número	8,684
PEA dedicada a la agricultura, caza y pesca (%)	Porcentaje	35
Tasa de desempleo	Porcentaje	1,9

**Fuente:** Sistema Integrado de Indicadores Sociales SIISE 2007

**Cuadro 3.6.** Detalle desarrollo capital humano.

<b>DESARROLLO CAPITAL HUMANO</b>		
Escolaridad media del productor/a	Promedio	4,8
Analfabetismo	Porcentaje	8,1
Pobreza según necesidades básicas insatisfechas (NBI)	Porcentaje	84,2

**Fuente:** Sistema Integrado de Indicadores Sociales SIISE 2007

### 3.7.2. Salud

No existen dispensarios ni centros básicos de atención médica, por lo que cualquier tipo de atención leve debe trasladarse a Pacayacu, y si el caso es considerable deberá trasladarse a Lago Agrio o Dureno.

Los principales problemas registrados son las enfermedades infectocontagiosas, debido a la falta de servicios básicos, la mayoría de hogares no cuentan con servicio de agua potable o entubada, obtienen el agua de esteros y de pozos superficiales. En cuanto a servicios higiénicos no se dispone de alcantarillado y apenas se cuenta con pozos sépticos o letrinas.

Además no existen programas de prevención de enfermedades lo que pudiera conllevar a afrontar epidemias con graves consecuencias, por lo que se considera a este como un sector vulnerable por no contar con las condiciones básicas de salubridad.

### 3.7.3. Educación

La zona cuenta con una escuela unidocente con 25 niños distribuidos en seis grados. Un reducido número de personas jóvenes continúan estudiando el bachillerato en las parroquias cercanas y muy pocas están estudiando el nivel superior en universidades de los cantones próximos.

### 3.7.4. Vivienda

**Cuadro 3.7.** Detalle de viviendas del sector

VIVIENDA		
Viviendas	Número	1.390
Hogares	Número	1.398
Casas, villas o departamentos	%(viviendas)	80,2
Piso de entablado, parquet, baldosa, vinil, ladrillo o cemento	%(viviendas)	84,2
Agua entubada por red pública dentro de la vivienda	%(viviendas)	2,5
Red de alcantarillado	%(viviendas)	1,5
Servicio eléctrico	%(viviendas)	39
Servicio telefónico	%(viviendas)	2,1
Servicio de recolección de basura	%(viviendas)	19,9
Déficit de servicios residenciales básicos	%(viviendas)	99,7
Vivienda propia	%(hogares)	77,9
Hacinamiento	%(hogares)	31,5
Servicio higiénico exclusivo	%(hogares)	24,8
Ducha exclusiva	%(hogares)	15,2
Cuarto de cocina	%(hogares)	78,4
Uso de gas o electricidad para cocinar	%(hogares)	67,5
Uso de gas para cocinar	%(hogares)	65,6
Uso de leña o carbón para cocinar	%(hogares)	31,1

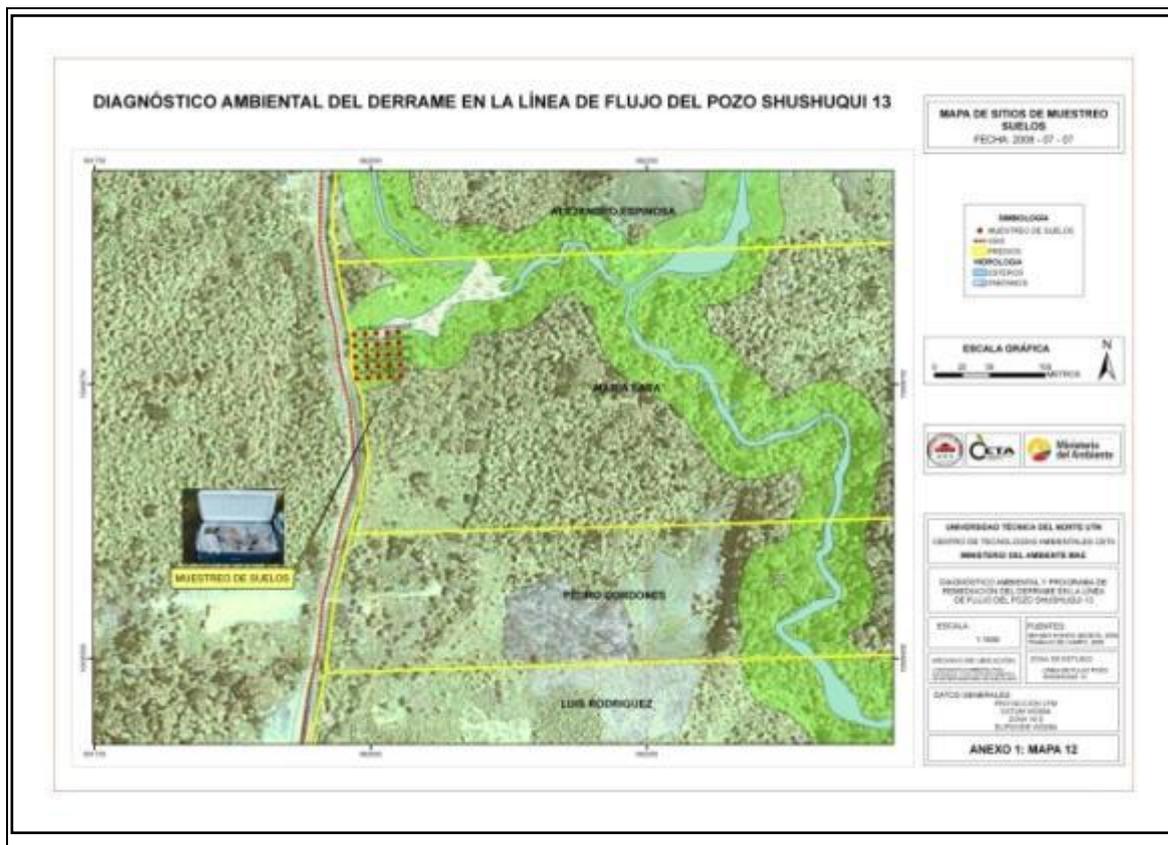
**Fuente:** Sistema Integrado de Indicadores Sociales SIISE 2007

## 3.8. MAPAS DE MUESTREO Y DISTRIBUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

### 3.8.1. Muestreo de Suelos

Para la obtención de muestras se utilizó el *muestreo sistemático (en rejilla)* que consiste en la toma de muestras equidistantes con el fin de realizar una mejor caracterización de la contaminación. Como se trata de evaluar la extensión de la contaminación en superficie y profundidad se trazaron varias líneas paralelas y perpendiculares sobre la superficie. Sobre las intersecciones que son equidistantes, se tomó la muestra, la separación entre líneas y por lo tanto el número de puntos de muestreo se indican en el Mapa 3.4. Para determinar si el crudo pudo haber migrado hacia el interior del suelo, en cada punto de muestreo se tomaron 3 muestras de suelo a profundidades de 0.20m, 0.50m y 1.20m.

**Mapa 3.4. Muestreo Sistemático de Suelos**



Elaboración: CETA – UTN

### 3.8.2. Muestreo de Sedimentos

Se tomaron 13 muestras de sedimentos en puntos que se indican en el Mapa 3.5. Cada punto se seleccionó en bases a dos consideraciones:

- La mayor posibilidad de acumulación de contaminantes en los meandros de los esteros.
- La presencia de materiales en suspensión, principalmente arcillas, que ejercen un efecto encapsulador sobre el crudo y los llevan al fondo del agua.

Gracias a la baja profundidad de los esteros fue posible tomar las muestras manualmente, utilizando muestreadores tipo "Core" (muestra no alterada).

**Mapa 3.5.** Ubicación de Puntos de Muestreo de Sedimentos

Elaboración: CETA – UTN

### 3.8.3. Muestreo de Agua

Dado que un muestreo de agua implica un intento por establecer, a partir de muestras representativas, la calidad fisicoquímica y microbiológica predominante en un determinado volumen, la definición de los puntos requeridos para tal efecto debe estar basada en el tipo de información que se quiere obtener y de los recursos con que se cuenta. Para este caso, la evaluación de la calidad del agua permitió establecer la existencia de remanentes de la contaminación inicial o probablemente la presencia de fuentes de contaminantes distintas al derrame de la línea de flujo. Para ello, el primer punto de muestreo se ubicó en el nacimiento del estero afectado directamente por el derrame. A partir de este punto, los siguientes puntos se ubicaron a distancias determinadas por la relación:

$$10 \text{ m} + n$$

En donde,  $n$  fue aumentando de 1 en 1, hasta llegar a 18 y contabilizar un total de 23 muestras, con un recorrido total de 306 m.

### 3.8.4. Distribución de la contaminación

Luego de haber realizado la caracterización ambiental y social del área de intervención del Proyecto los resultados de los análisis de laboratorio muestran lo siguiente:

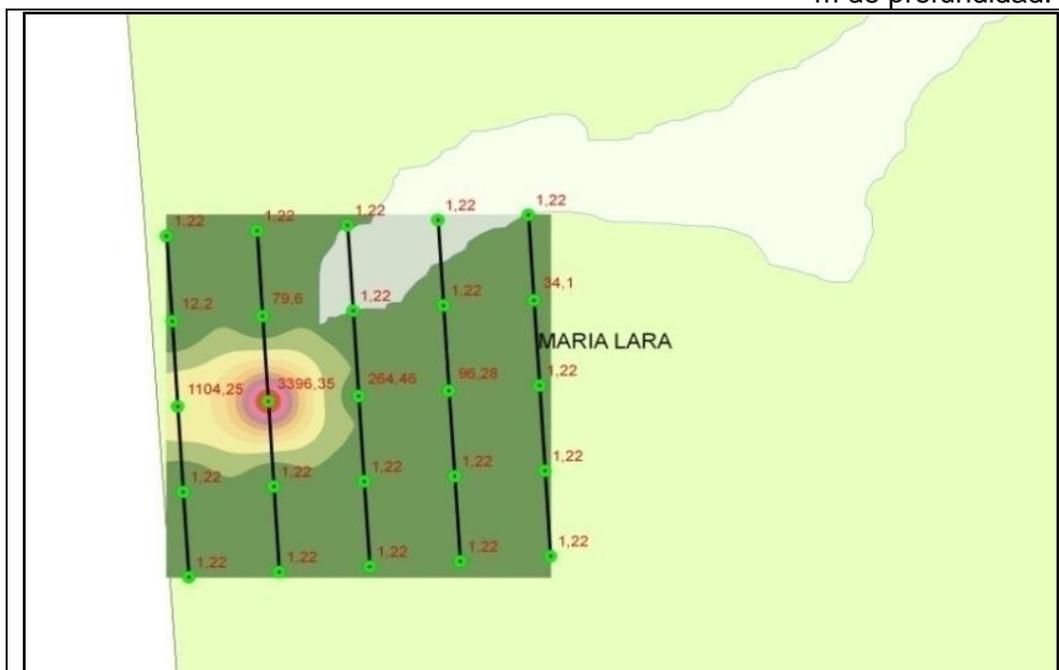
#### 3.8.4.1. Superficie Afectada

La superficie de suelos afectada por el derrame es de 6.400 m<sup>2</sup> (80 x 80 m), mientras que el área de pantano y estero afectada es de 13.600 m<sup>2</sup>, lo que suma una superficie de 20.000 m<sup>2</sup> o dos hectáreas.

#### 3.8.4.2. Pluma de Contaminación

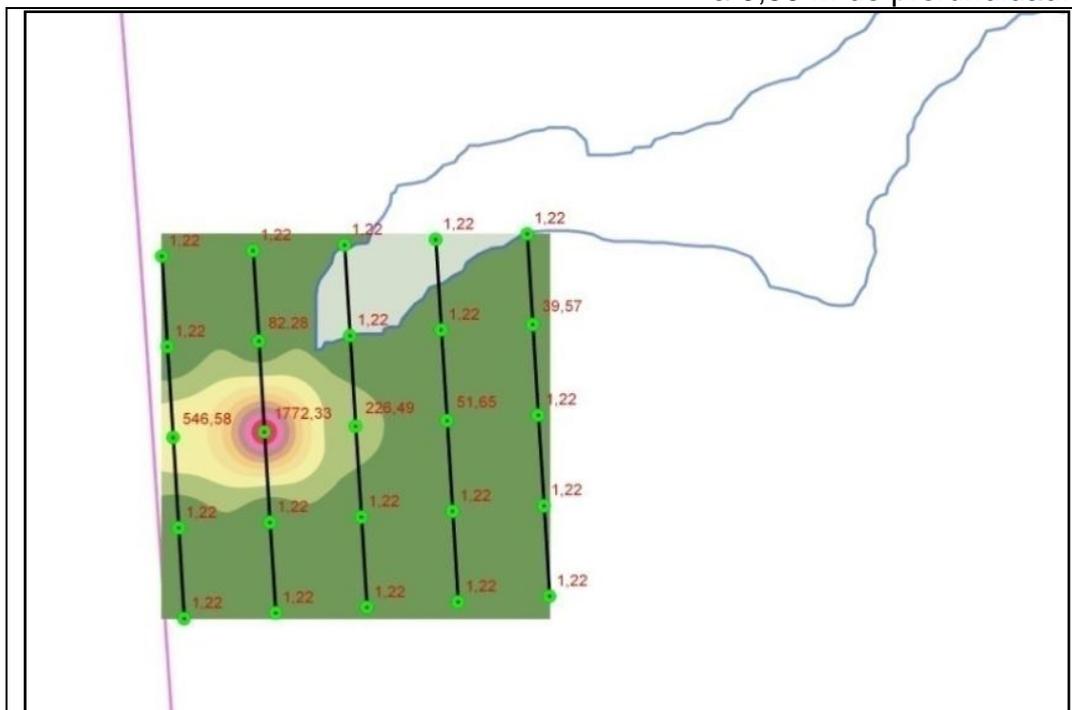
Para el análisis de la pluma de contaminación se empleó las extensiones Spatial Analyst y Geostatistical Analyst de ArcGIS, cuyos resultados se muestran a continuación en los Mapas 3.6, 3.7 y 3.8.

**Mapa 3.6.** Pluma de contaminación en suelos muestreados a 0,20 m de profundidad.



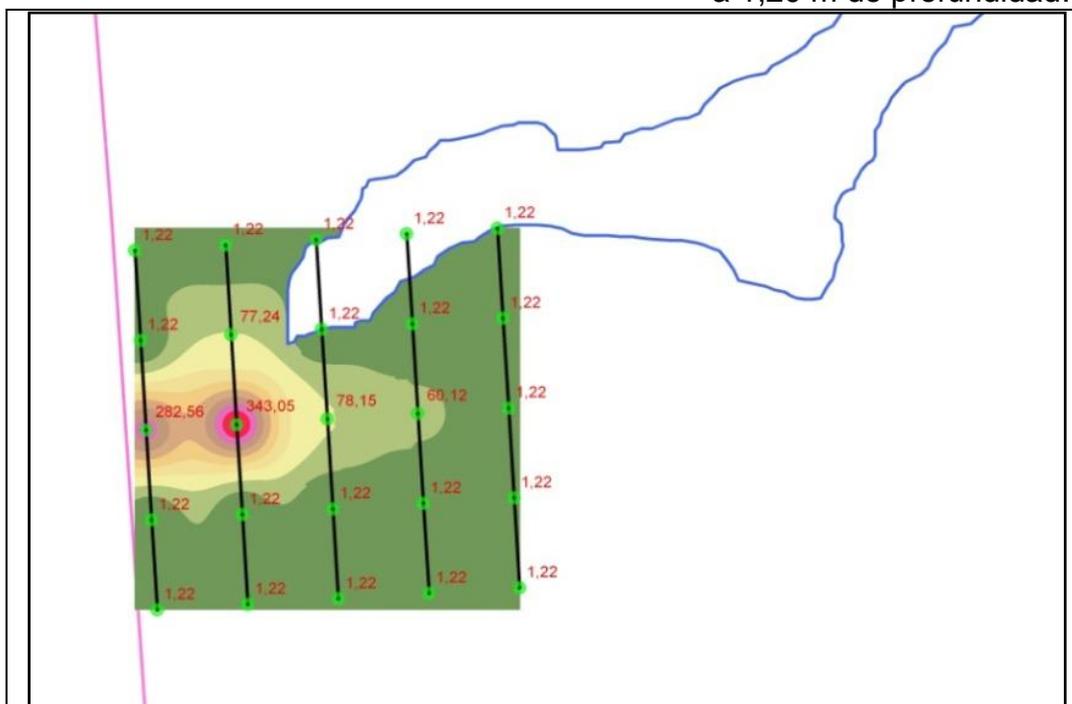
Elaboración: CETA – UTN

**Mapa 3.7.** Pluma de contaminación en suelos muestreados a 0,50 m de profundidad.



Elaboración: CETA – UTN

**Mapa 3.8.** Pluma de contaminación en suelos muestreados a 1,20 m de profundidad.



Elaboración: CETA – UTN

En base a los gráficos anteriores que muestran la Pluma de contaminación, se concluye que la contaminación de suelo ha sido puntal por lo que el tratamiento se focalizará exclusivamente a la parte alta del pantano, mientras que los sedimentos y el agua han sido los que muestran mayor contaminación debido a que estos forman parte de un ecosistema dinámico como es el caso del pantano y el estero, que a mas de ser elementos susceptibles a la contaminación por hidrocarburos, también se convierten en agentes dispersores de la contaminación, ampliando el área de contaminación hacia otros ecosistemas.

#### **3.8.4.3. Volumen de Sustratos a Tratarse**

Según los resultados de los análisis de laboratorio que han sido interpolados cartográficamente se ha podido establecer el volumen de suelo a tratarse, estimándose unos  $6.400 \text{ m}^3$  ( $6.400 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}$ ), mientras que en sedimentos el volumen a tratarse supera los  $6.800 \text{ m}^3$  ( $13.600 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m}$ ), sumando un total de  $13.200 \text{ m}^3$ , que serán tratados con diferentes técnicas y métodos de tratamiento según sea el caso.

### **3.9. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE MUESTRAS DE LABORATORIO.**

#### **3.9.1. Análisis de resultados de suelos**

Después de realizar los análisis de laboratorio a las muestras de suelo contaminado con hidrocarburos y analizar sus resultados se puede decir que:

La textura arcillo-arenosa del suelo del lugar de investigación, constituye un factor positivo que ha permitido, gracias principalmente a la arcilla, que los hidrocarburos no percolen hacia horizontes inferiores e inclusive

hacia la capa freática. Esta afirmación se ratifica al observar los resultados de la medición del TPH a una profundidad de 1,20 m, en la cual no se encuentran valores superiores a los establecidos en la normas, tanto para suelos agrícolas como de riesgo ecológico; el TPH supera el valor límite solo en una muestra a 0.50 m y en dos muestras superficiales.

En los demás puntos de muestreo, que cubren un área de 2.500 m<sup>2</sup> alrededor del punto de ruptura de la línea de flujo, no se encuentran valores apreciables de TPH, lo que indica que el derrame no afectó a grandes áreas de suelo y que gracias a los factores climáticos y la pendiente del suelo, la zona afectada se está recuperando en su mayor parte. Sin embargo, hay que tomar en cuenta la presencia de valores bajos de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos, HAPs, que por su alta toxicidad deberán ser disminuidos al mínimo o eliminados.

Otro factor que se debe tomar en cuenta para la remediación es la presencia de metales pesados provenientes del crudo derramado. Los metales Plomo y Vanadio, seleccionados como indicadores de la presencia de metales pesados, se encuentran en todas las muestras de suelos y con frecuencia superan los valores límite. En estos casos se podría atribuir a la mineralogía y a la capacidad de intercambio iónico del suelo, la presencia de estos metales en los espacios por donde fluyó el derrame desde el punto de ruptura de la tubería hasta el inicio del estero.

Con respecto a la microbiología del suelo, se observan poblaciones bacterianas fluctuantes y en cantidades menores a las necesarias para asegurar un proceso de degradación natural de los hidrocarburos, por lo que será necesario investigar la posibilidad de usar procesos de biorremediación ayudada.

Por último, los parámetros de calidad del suelo señalan cantidades de nutrientes que deben ser evaluadas en función de la necesidad bacteriana para la degradación y, de ser necesario aumentadas artificialmente hasta niveles adecuados.

### **3.9.2. Análisis de resultados de sedimentos**

La mayoría de muestras analizadas contienen hidrocarburos totales, policíclicos aromáticos y metales pesados en cantidades mayores a la permitidas por la normas de control, haciéndose evidente que los sedimentos son los más afectados, no sólo por el derrame producido por la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, sino por la presencia de numerosos puntos de contaminación ubicados fuera del área afectada directamente por el petróleo del Shushuqui 13.

Los sedimentos del estero ubicado en el área de impacto del derrame contienen las mayores cantidades de contaminantes.

Esta situación parece deberse no solamente al derrame bajo diagnóstico sino también a la presencia de fuentes de contaminación generadas en eventos anteriores y que no han sido tratadas adecuadamente.

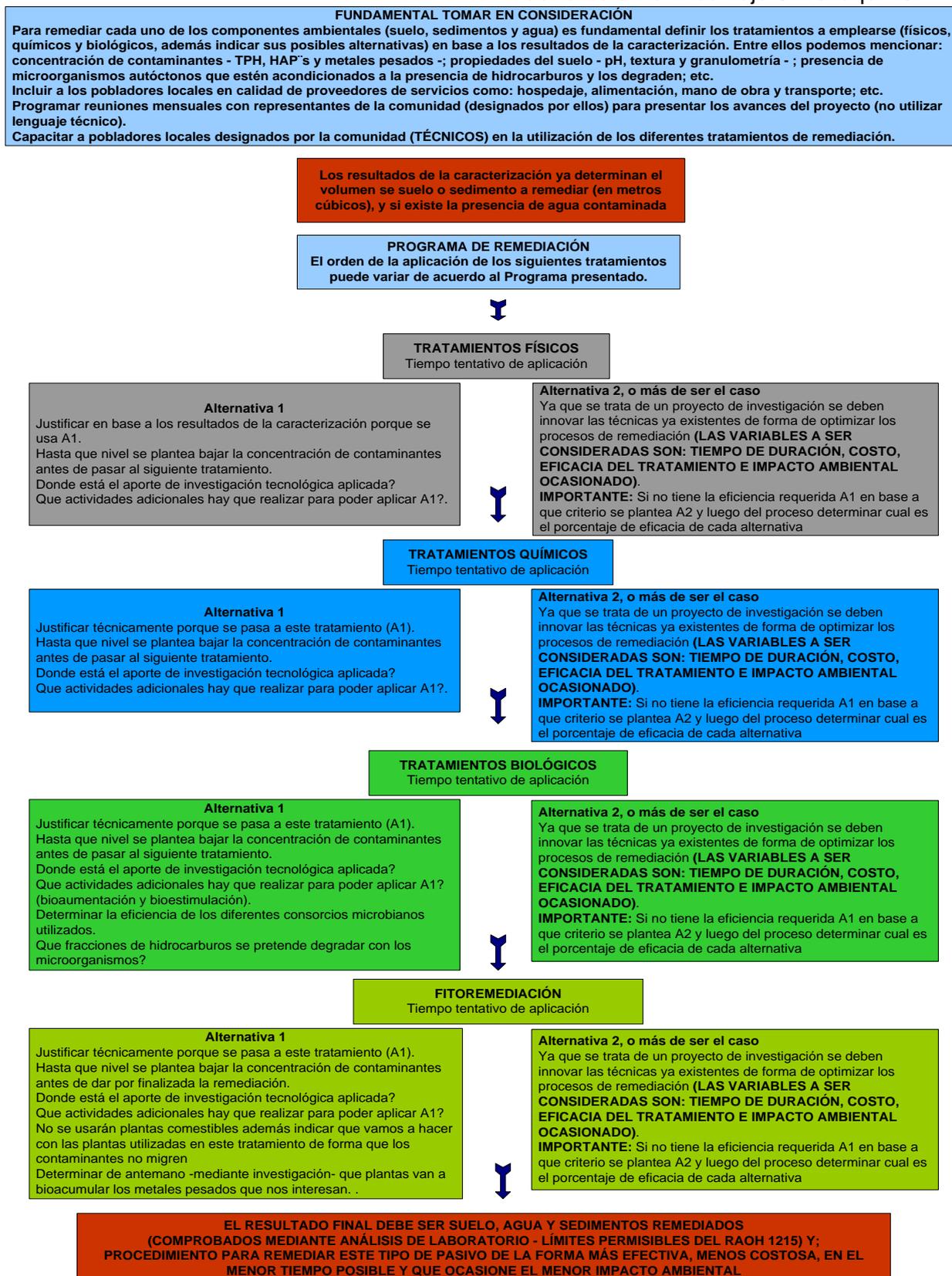
El proceso de remediación debe enfocarse a los suelos contaminados directamente por el derrame y, sobre todo, a los sedimentos.

Se debe buscar mecanismos para controlar la contribución que otras posibles fuentes hacen a la contaminación de los sedimentos.

## **3.10. ESQUEMA DE LA PROPUESTA DE REMEDIACIÓN.**

Las consideraciones técnicas y sociales que deben tenerse en cuenta al presentar el programa de remediación se indican a continuación en el siguiente esquema:

### Esquema 3.1. Propuesta de remediación del área contaminada por el derrame en la línea flujo Shushuqui 13.



Elaboración: CETA – UTN

## **4. CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Como se detallo anteriormente la presente tesis es parte de un proyecto global de remediación ambiental integral del derrame producido por la ruptura de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, que está a cargo del CTT-FICAYA de la Universidad Técnica del Norte.

El derrame afectó directamente al pantano que se encuentra en la finca de la Sra. María Lara, el petróleo derramado contaminó un estero, que se conecta con el río San Vicente, razón por la cual el área afectada se extendió a dos fincas vecinas, propiedades del Sr. Pedro Cordones y el Sr. Luis Rodríguez.

En el pantano contaminado por el derrame (Foto 4.1.), se encontraron altos niveles de contaminación, básicamente el problema radicaba en mayor grado en el suelo y sedimentos; el agua también presentaba algunos índices de contaminación, aunque en menor proporción ya que el agua circula por escorrentía superficial y va arrastrando la contaminación pendiente abajo, por lo que aparentemente el agua no estaría tan afectada.

**Foto 4.1.** Pantano afectado por el derrame de petróleo, debido a la ruptura de la línea de flujo del Pozo Shushuqui 13.



**Fuente:** Viviana Muñoz

Para remediar el área contaminada, el CTT-FICAYA procedió al lavado del suelo del pantano, este proceso consistió en enviar agua a presión sobre el suelo impregnado con hidrocarburos, forzando así a separar la matriz (suelo o sedimento) del petróleo. Después de este proceso físico, se pudo observar que el agua logra retirar gran parte del contaminante del suelo, pero como consecuencia se produce agua contaminada con hidrocarburos la cual debe ser tratada para que no contamine los cuerpos de agua cercanos al lugar de ejecución del proyecto.

El tratamiento de este efluente contaminado fue el objetivo de la presente investigación, para lo cual se montó un sistema mixto que comprende la construcción de un humedal Artificial combinado con la filtración en tamices

moleculares (zeolita y carbón activado), obteniendo al final del proceso agua que cumpla con los límites permisibles establecidos en el RAHO-1215.

## 4.2. MATERIALES

En los siguientes cuadros se detallan los materiales y equipos empleados en las diferentes etapas de la investigación (construcción, trabajo de campo y oficina).

**Cuadro 4.1.** Detalle de Materiales de construcción del Humedal Artificial (HA.<sup>26</sup>).

<b>MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL</b>		
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Palas	4 u	Herramientas utilizadas para realizar agujeros en el lecho del estero, y posteriormente instalar postes de madera.
Picos	2 u	
Sacabocados	2 u	
Barra	2 u	
Postes de madera (0,08m x 0,08m x 2m)	28 u	Se utilizaron como cimientos para soportar los muros del Humedal Artificial.
Costales de yute (50 Kg)	700 u	Se llenaron de arcilla, para construir los muros del Humedal Artificial.
Costales de yute (25 Kg)	500 u	
Alambre Galvanizado #12	100 m	Se utilizó para sujetar los postes de madera
Grapadoras industriales	3 u	Se utilizó para sellar los costales, después de ser llenados de arcilla.
Grapas industriales	4 cajas	
Tablas de madera	82 u	Se colocaron para reforzar internamente los muros del Humedal Artificial.
Postes de madera (0,15m x 0,15m x 2m)	50 u	Se colocaron para reforzar el perfil externo del Humedal Artificial, y evitar que la corriente del estero destruya la estructura.

<sup>26</sup> HA.- Humedal Artificial.

Malla metálica	20 m <sup>2</sup>	Se utilizó para hacer gaviones y reforzar la curva del Humedal Artificial
Geomembrana	420 m <sup>2</sup>	Se utilizó para impermeabilizar el Humedal Artificial.
Tubos de presión 4"	12 m	Se utilizaron para conducir el agua de una celda a otra.
Abrazaderas de plástico	100	Se utilizaron para sujetar la geomembrana con los tubos de presión.
Caña guadua	70 m	Se colocaron para recibir el agua filtrada en cada celda y conducirla de una celda a otra.

**Elaborado:** Autora.

**Cuadro 4.2.** Detalle de Materiales filtrantes utilizados en el Humedal Artificial.

<b>MATERIALES FILTRANTES</b>		
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD (m<sup>3</sup>)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Piedra bola	9,69	<b>CAPA INFERIOR:</b> Se colocó una capa de 0,3m en 7 celdas del HA.
Grava ¾	6,46	<b>CAPA INTERMEDIA:</b> Se colocó una capa de 0,2m en 7 celdas del HA.
Arena lavada de río	9,69	<b>CAPA SUPERIOR:</b> Se colocó una capa de 0,3m en 7 celdas del HA.
Carbón Activado malla 80	0,8	Se colocaron 3 capas de zeolita y 3 capas de carbón activado, de forma alternada, en la última celda del HA.
Zeolita malla 80	0,8	

**Elaborado:** Autora.

**Cuadro 4.3.** Detalle de Componentes del filtro especializado de zeolita y carbón activado.

<b>COMPONENTES DEL FILTRO ESPECIALIZADO</b>		
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Carbón Activado malla 80	675 Kg	Se utilizó para evaluar su capacidad de retirar los residuos de hidrocarburos
Zeolita malla 80	1950 Kg	Se utilizó para evaluar la capacidad de remover los remanentes de metales pesados.
Tubo de presión 2"	36 m	Estos materiales se utilizaron para construir un sistema especializado de circulación y filtración del agua en tratamiento.
Tee de presión 2"	60	
Cruz de presión 2"	30	
Codo de presión 50x90	30	
Codo de presión 50x45	18	
Reductores 75 x 50	4	
Reductores 90 x 75	4	
Pega tubo	1000 ml	

**Elaborado:** Autora.

**Cuadro 4.4.** Detalle de materiales de muestreo.

<b>MATERIALES DE MUESTREO</b>		
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Frascos de vidrio Ámbar (1 litro)	20	Se utilizaron para tomar muestras de agua y analizar TPH y DQO.
Frascos de vidrio Ámbar (500 ml)	20	Se utilizaron para tomar muestras de agua y analizar metales pesados.
Frascos de plástico (250 ml)	20	Se utilizaron para tomar muestras de agua y analizar pH, Conductividad Eléctrica y Sólidos totales.
Ácido Nítrico	100 cm <sup>3</sup>	Sirve para conservar las muestras de agua que contengan metales pesados.

Ácido Sulfúrico	100 cm <sup>3</sup>	Sirve para conservar las muestras de agua que contengan TPH y DQO.
Marcador permanente	10	Se utilizó para apuntar los códigos de cada muestra de agua.
Hielera	3	Se utilizó para la conservación y traslado de las muestras de agua.
Hielo Coleman (Gel refrigerante)	5	Se utilizó para conservar las muestras de agua refrigeradas.
pH metro	1	Medir pH de las muestras de agua
Medidor de conductividad eléctrica	1	Medir CE de las muestras de agua
COMBO (Medidor de T, CE, pH)	1	Medir Temperatura, CE y pH de las muestras de agua
Bandas de pH	1 paq.	Medir pH de las muestras de agua

**Elaborado:** Autora.

**Cuadro 4.5.** Materiales de trabajo de campo.

<b>MATERIALES DE TRABAJO DE CAMPO</b>	
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
Buzos manga larga	3
Gorra	1
Botas de caucho	1 par
Casco de protección	1
Gafas	1
Faja	1
Guantes acrílicos	4 pares
Guantes trabajo	4 pares
Poncho de agua	1
Cámara digital	1
Computadora portátil	1
Unidades de almacenamiento masivo USB	2
Calculadora	1
Pilas recargables	1 par

**Elaborado:** Autora.

### 4.3. EQUIPOS

**Cuadro 4.6.** Equipos utilizados en el tratamiento de aguas contaminadas.

<b>EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS</b>		
<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
pH metro	1	Medir pH de las muestras de agua
Medidor de conductividad eléctrica	1	Medir CE de las muestras de agua
COMBO (Medidor de T, CE, pH)	1	Medir Temperatura, CE y pH de las muestras de agua
Moto sierra	1	Realizar cortes a la caña guadua
Amoladora	1	Realizar cortes a los tubos de presión (flautín), para circulación del agua.
Bomba de eléctrica 1.5 HP	1	Extraer el agua contaminada desde el lavado de suelos y llevarla hasta el Humedal Artificial.

**Elaborado:** Autora.

### 4.4. MÉTODOS

#### 4.4.1. DISEÑO

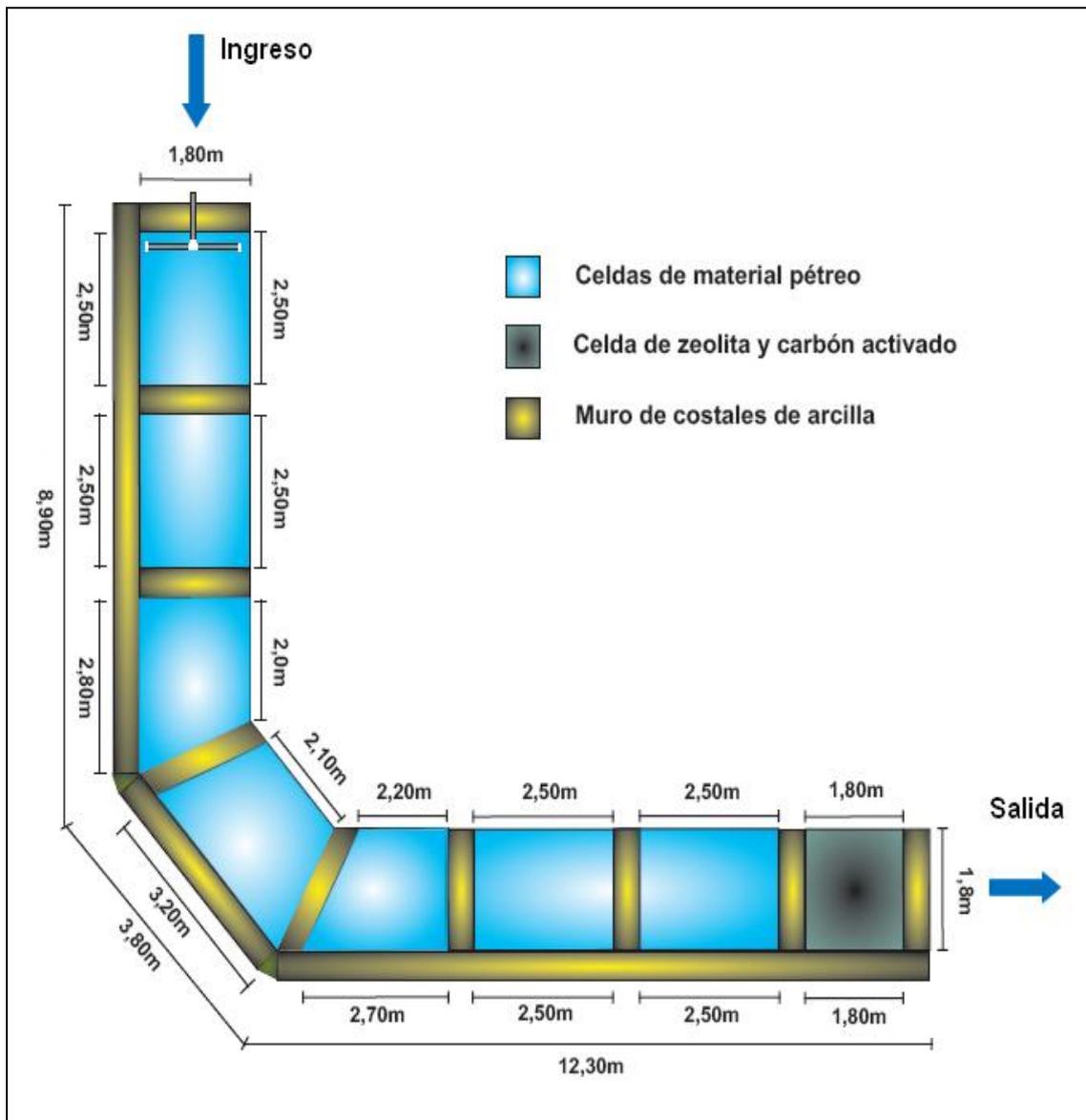
El Humedal Artificial tiene la forma de una “L”, debido a que se lo ubicó dentro del lecho del estero en el margen izquierdo. Lo que se buscaba era introducir el HA., como parte del entorno, simulado un pantano natural; adicionalmente las condiciones de espacio en el lugar de investigación eran escasas, y el objetivo era causar el menor impacto ambiental posible.

El Humedal artificial construido consta de ocho celdas, las siete primeras están constituidas por material pétreo distribuido en capas de

acuerdo a la variación en su granulometría<sup>27</sup>. La octava celda está conformada por zeolita y carbón activado, además de un sistema especializado de circulación y filtración de agua.

Las dimensiones son: 25m de largo, 1.80m de ancho y 1.2m de espesor; diseñado para tratar una capacidad de 23 m<sup>3</sup> de agua contaminada. (Fig.4.1.)

**Fig. 4.1.** Esquema del Humedal artificial.

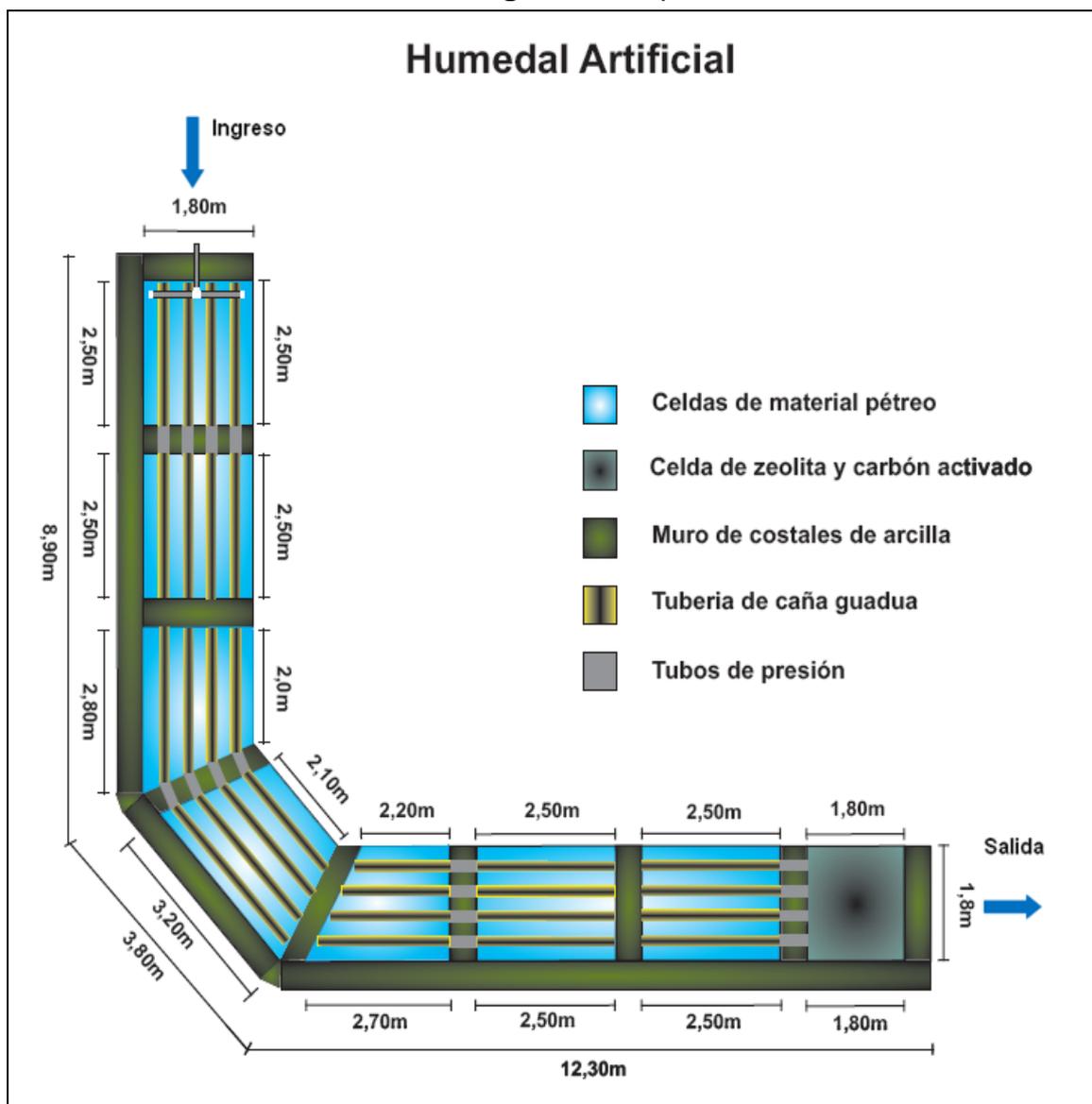


**Elaborado:** Autora.

<sup>27</sup> Distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, sedimento o material.

En la base de cada celda se colocó cuatro cañas guadua simulando un tubo para la conducción del fluido (Fig. 4.2.), su función es recibir el agua filtrada y transportarla de una celda a otra, ya que se empatan con los tubos de presión de 4" que se encuentran en la base de los muros que dividen a cada celda.

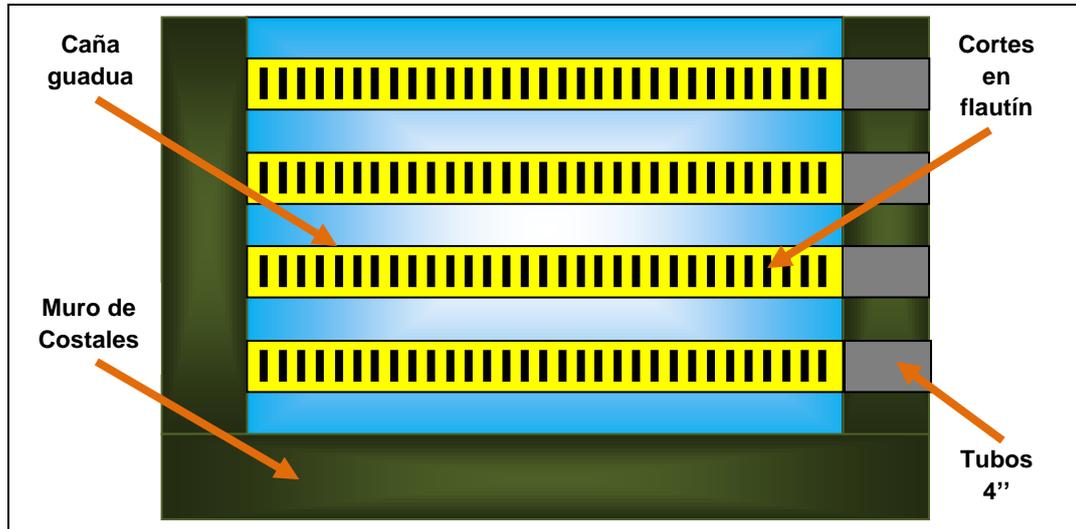
Fig. 4.2. Componentes del Humedal artificial.



Elaborado: Autora.

Adicionalmente se realizaron cortes a lo largo de la caña a manera de flautín para facilitar el ingreso del agua (Fig. 4.3.).

**Fig. 4.3.** Esquema de la base de las celdas del Humedal Artificial.



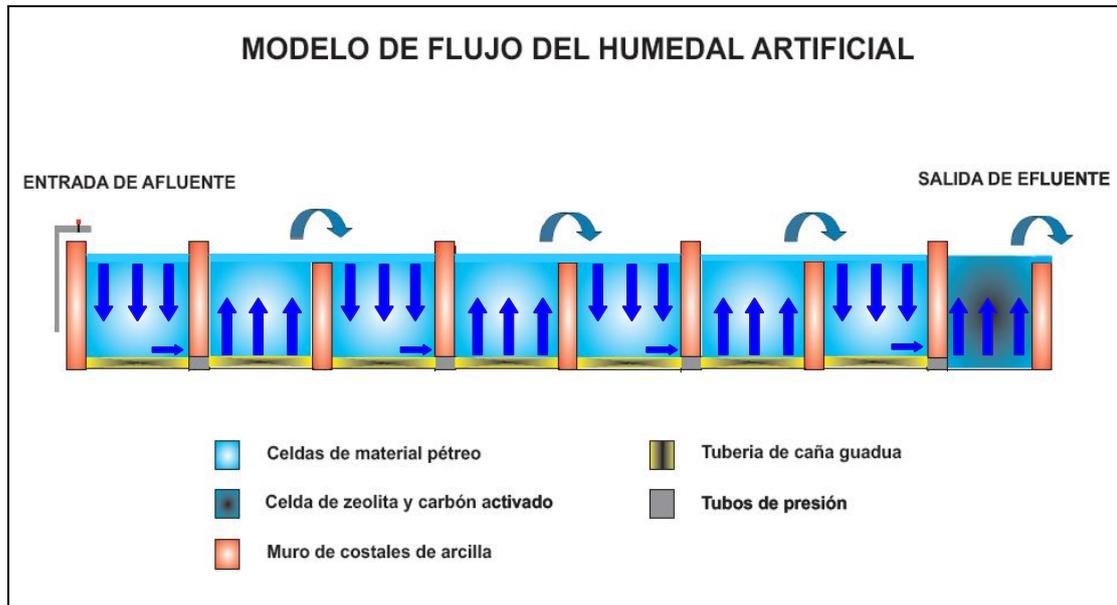
**Elaborado:** Autora.

#### 4.4.1.1. Modelo de flujo de agua

El flujo del agua a través del Humedal Artificial se realizó mediante filtración en cada celda. El paso del agua de una celda a otra se efectuó de dos formas, la primera por inundación y trabase, y la segunda mediante la circulación a través de tubos de presión de 4" que se instalaron de forma alternada en la base de los muros que dividen a cada celda (Fig. 4.4.).

Este diseño busca garantizar un tiempo de retención hidráulico adecuado, que permita a las especies acuáticas realizar el trabajo de fitorremediación y a la zeolita y carbón activado, actuar en la retención de metales pesados, remanentes de hidrocarburos y malos olores.

**Fig. 4.4.** Flujo de agua en tratamiento a través del HA.

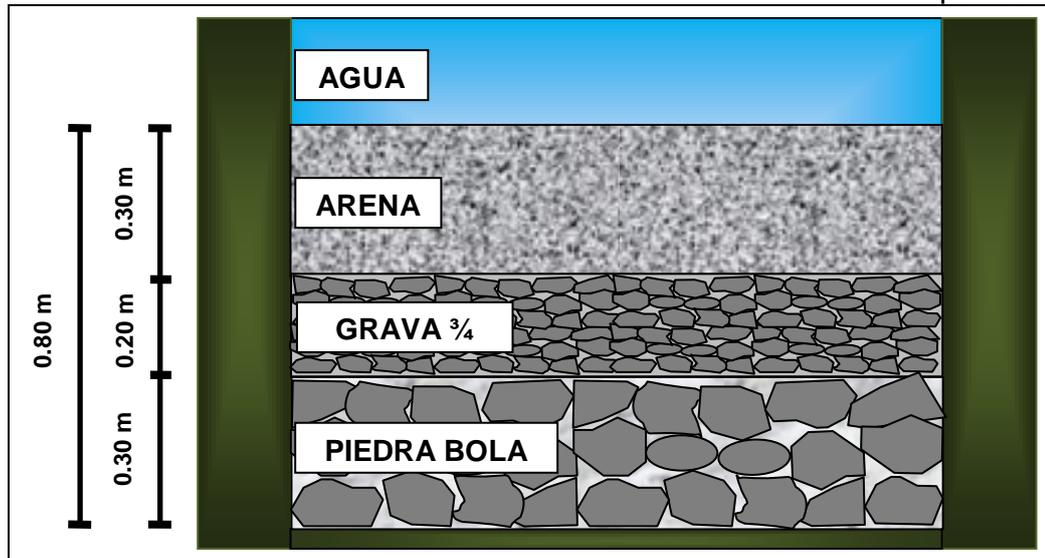


**Elaborado:** Autora.

#### 4.4.1.2. Distribución de tamices moleculares en cada celda

Las siete primeras celdas que conforman el HA. están llenas de material pétreo. Cada celda tiene una capa inferior de piedra bola de 0.30m de espesor, una capa intermedia de grava  $\frac{3}{4}$  de 0.20m de espesor y una capa superior de arena lavada de río de 0.30m de espesor (Fig. 4.5.). Ésta distribución busca lograr una optima filtración del agua contaminada, ya que el agua al pasar por los tamices va eliminando materiales sólidos presentes, se disminuye la turbiedad y algunas impurezas.

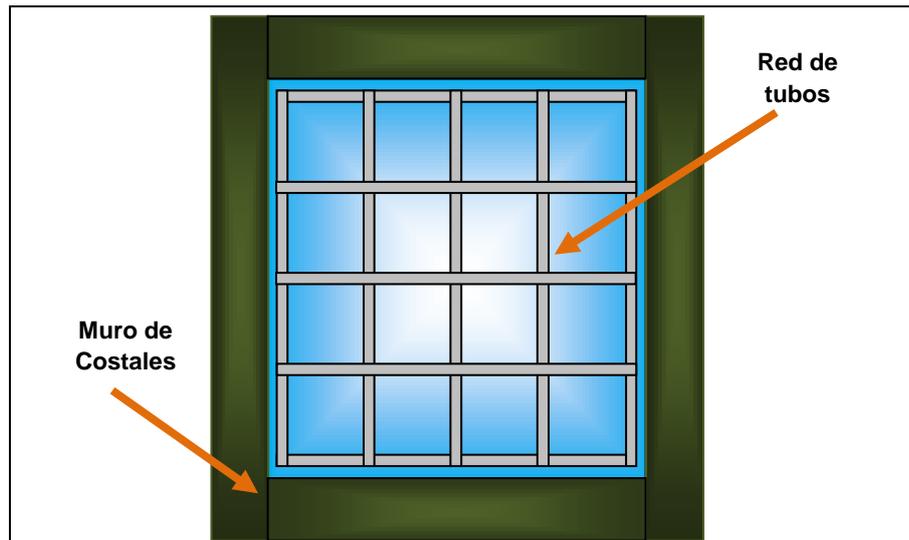
**Fig. 4.5.** Vista de perfil<sup>28</sup> de una celda que contiene material pétreo.



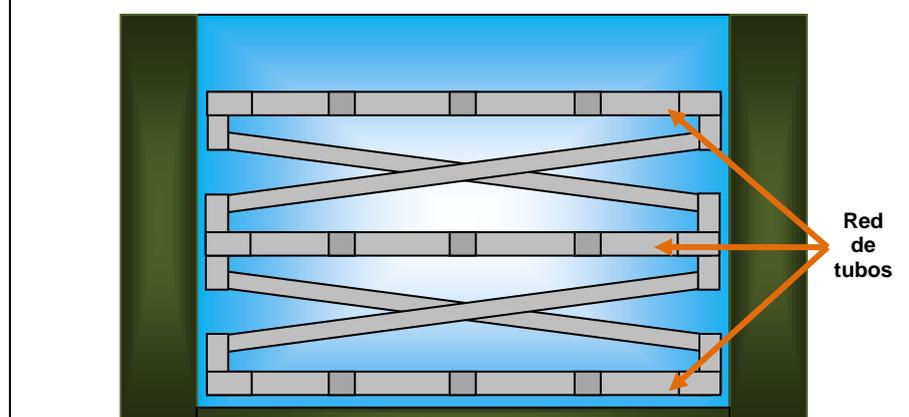
**Elaborado:** Autora.

La octava celda es un filtro que contiene zeolita, carbón activado y tres redes de tubos dispuestos en forma de cuadrícula (Fig. 4.6. (a).), que se colocaron en la parte inferior, media y superior de la celda, con el objetivo de conducir uniformemente el agua en tratamiento (Fig. 4.6. (b).); además los tamices están ubicados de manera alternada, entre cada cuadrícula y sus funciones son de eliminar remanentes de metales pesados, el espejo iridiscente característico de hidrocarburos y malos olores (Fig. 4.6. (c).).

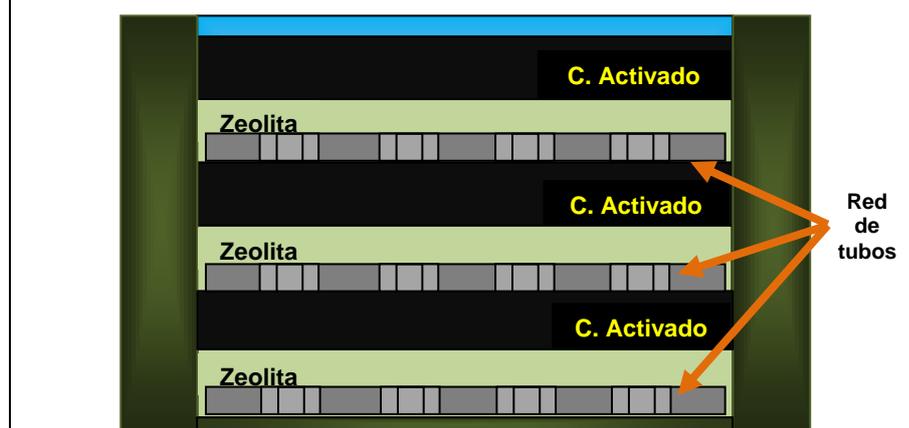
<sup>28</sup> Vista que se obtiene cuando el objeto es observado desde uno de sus lados.



**Fig. 4.6. (a).** Vista de planta<sup>29</sup> de la celda 8, disposición de la red de tubos en forma de cuadrícula.



**Fig. 4.6. (b).** Vista de perfil de la celda 8, disposición de las tres redes de tubos en forma de cuadrícula, para la circulación del agua.



**Fig. 4.6. (c).** Vista de perfil de la celda 8, disposición de manera alternada de los tamices moleculares (Zeolita y Carbón activado).

**Elaborado:** Autora.

<sup>29</sup> Vista que se consigue cuando el objeto es observado desde arriba.

#### 4.4.1.3. Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas

La capacidad de remoción de metales pesados por los humedales artificiales, ha sido objeto de algunas investigaciones, en las cuales se han alcanzado eficiencias de remoción de hasta el 90%. La remoción se atribuye a los fenómenos de precipitación y adsorción; la precipitación química es reforzada por el metabolismo del humedal, especialmente el de las algas que reducen los niveles de  $\text{CO}_2$  disuelto y aumentan el pH.

Para la presente investigación se eligieron tres especies de plantas acuáticas que intervendrán en la remoción de metales pesados e hidrocarburos; pasto (*Panicum maximum*), junquillo de agua (*Eleocharis elegans*), y lirio acuático (*Limnocharis flava*); las dos primeras han registrado antecedentes en sistemas de depuración de aguas residuales domésticas e industriales, además las tres especies se han desarrollado satisfactoriamente en pantanos contaminados con hidrocarburos, que están situados muy cerca del lugar de investigación, por tal motivo no fue necesario introducir plantas exóticas ya que es un ecosistema sensible.

#### 4.4.1.4. Taxonomía y características morfológicas de *Panicum maximum*.

Fig. 4.7. *Panicum máximo*.



Fuente: Viviana Muñoz

**Cuadro 4.7.** Información taxonómica *Panicum maximum*.

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Orden:</b>	Cyperales
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Género:</b>	<i>Panicum</i>
<b>Especie:</b>	<i>maximum</i>
<b>Nombre Científico:</b>	<i>Panicum maximum</i>
<b>Distribución:</b>	América, especialmente en regiones tropicales.

**Fuente:** CONABIO, 2009.

Es una hierba perenne, amacollada, robusta, alcanza tamaños de 1 a 2.5 m de alto o más, su tallo presenta generalmente pelos largos y erectos en los nudos; su raíz es un rizoma rastrero.

Sus hojas son alternas, dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, con las venas paralelas, divididas en 2 porciones, la inferior llamada vaina que envuelve al tallo, es más corta que el entrenudo del tallo y presenta pelos erectos con su base engrosada, y la parte superior de la hoja llamada lámina es muy larga, angosta, plana, áspera al tacto en los márgenes y con pelos erectos principalmente hacia la base.

La inflorescencia presenta una panícula grande de hasta 50 cm de largo, con numerosos racimos rígidos y ascendentes. Los racimos de la parte inferior de la inflorescencia están dispuestos en verticilos. Cada racimo con numerosas espiguillas.

Tiene una sola semilla fusionada a la pared del fruto.

#### 4.4.1.5. Taxonomía y características morfológicas de *Eleocharis elegans*

**Fig. 4.8.** *Eleocharis elegans*.



Fuente: EOL, 2005.

**Cuadro 4.8.** Información taxonómica *Eleocharis elegans*.

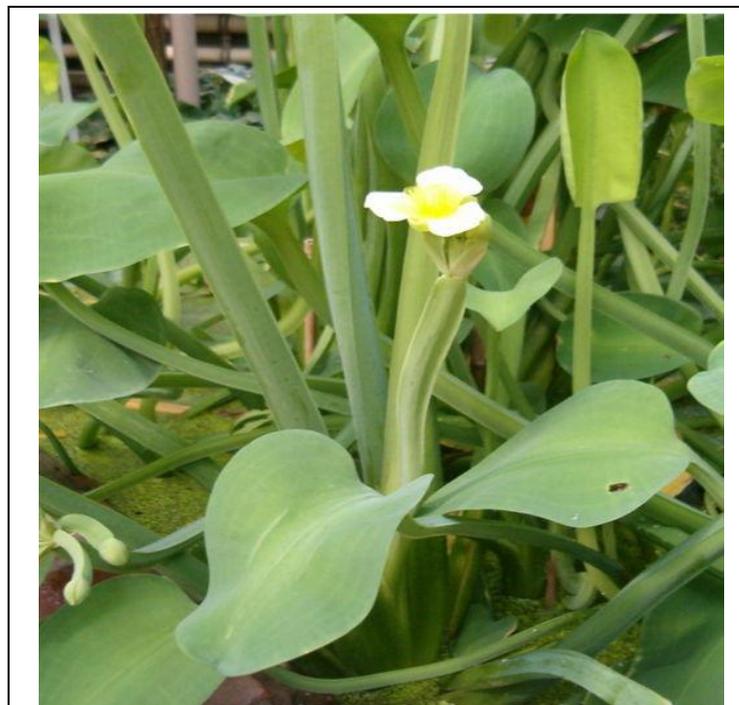
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Orden:</b>	Cyperales
<b>Familia:</b>	Cyperaceae
<b>Género:</b>	Eleocharis
<b>Especie:</b>	elegans
<b>Nombre Científico:</b>	<i>Eleocharis elegans</i>
<b>Distribución:</b>	Amazonía.

Fuente: Hanan y Mondragón, 2009.

Su nombre común es junquillo de agua, pertenece a la familia Cyperaceae; es una hierba acuática a subacuática, tiene tallos de erectos a recostados, cilíndricos se vuelven planos al secarse, son huecos y por dentro presentan membranas frágiles que los dividen aproximadamente cada 7 a 10 mm o más, su tamaño va hasta 1.5 m de largo. Sus hojas son reducidas a únicamente las vainas que abrazan el tallo, son rojizas o purpúreas y presentan el ápice truncado y a menudo con un pequeño diente; tiene numerosas flores densamente agrupadas en una espiguilla solitaria, cilíndrica o cónica, de hasta 3.2 cm de largo, ubicada en la punta del tallo. Cada flor en la axila de una bráctea angosta, de hasta 3.6 mm de largo, con el ápice algo redondeado, membranáceas, de color café, con la vena principal evidente y el margen algo translúcido, sin pelos.

#### 4.4.1.6. Taxonomía y características morfológicas de *Limnocharis flava*

Fig. 4.9. *Limnocharis flava*



Fuente: ACUARIOS, 2006.

**Cuadro 4.9.** Información taxonómica *Limnocharis flava*.

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Orden:</b>	Alismatales
<b>Familia:</b>	LIMNOCHARITACEAE
<b>Género:</b>	Limnocharis
<b>Especie:</b>	flava
<b>Nombre Científico:</b>	Limnocharis flava
<b>Autor del nombre:</b>	(L.) Buchenau, 1869
<b>Distribución:</b>	Amazonas.

**Fuente:** Instituto de Biología UNAM, 2008.

*Limnocharis flava*, perteneciente a la familia de las limnocharitaceas, conformada por plantas acuáticas o de zonas pantanosas.

Son hierbas perennes o anuales, enraizadas, emergentes. Hojas basales, pecíolos suculentos, triangulares o acostillados, no septados; láminas foliares ovadas a ovaladas, frecuentemente mucho más largas que anchas, truncadas a cordadas en la base. Inflorescencia umbeliforme, más corta que las hojas, pétalos amarillo pálido, estambres numerosos; su fruto es una cabeza globosa de nuececillas aplanadas tardíamente y semillas numerosas.

Se la encuentra en lagunas, marismas, orillas de ríos, y zanjas, de 0 a 400 msnm.

La *Limnocharis flava* es una planta muy bella, de tipo palustre, como se nombra a las que vive en lugares anegados o saturados de agua. Se la utiliza ornamentalmente en acuarios.

Se originó en las zonas tropicales de América y actualmente se la encuentra distribuida desde Centroamérica, hasta Argentina y Brasil.

#### 4.4.1.7. Distribución de especies acuáticas en el Humedal Artificial

Como se mencionó anteriormente, el HA., consta de ocho celdas, en las siete primeras se han colocado tres especies diferentes de plantas acuáticas que serán las realicen el trabajo de fitorremediación, capaces de absorber metales pesados, hidrocarburos y algunos contaminantes (Fig. 4.10.).

En la celda 1 y celda 2 se plantó *Panicum maximum*, que es un pasto propio de la zona, cuya capacidad de crecimiento y adaptabilidad es excelente, se lo pudo obtener en el pantano adyacente al lugar de investigación, pozo Shushuqui 17.

En la celda 3 y celda 4 se plantó *Eleocharis elegans*, es un junco, el cual crece de forma abundante en pantanos que han sufrido derrames de petróleo, tiene buena resistencia a condiciones de contaminación. Se lo obtuvo en el pantano del pozo Shushuqui 4.

En la celda 5 y celda 6 se plantó *Limnocharis flava*, es una hierba acuática, que se desarrolla adecuadamente en zonas que presentan algún tipo de contaminación con petróleo, se la obtuvo en el pozo Shuara 9.

En la celda 7 se realizó la plantación de las tres especies vegetales en asociación, lo que busca valorar su eficiencia trabajando en conjunto.

Las especies utilizadas para la investigación fueron recolectadas de pantanos de la zona, que anteriormente sufrieron derrames de hidrocarburos; estas plantas acuáticas lograron adaptarse a condiciones extremas de contaminación provocando una regeneración natural del lugar afectado.

**Fig. 4.10.** Esquema de distribución de especies acuáticas en el HA.



#### 4.4.2. CÁLCULOS EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL

Según Seoáñez (1999), algunos sistemas FWS<sup>30</sup> utilizan tiempos de retención hidráulica de 0.25 a 75 días. Para la presente investigación se ha establecido un **TRH** de 8 horas, debido a que el volumen de agua contaminada procedente del lavado de suelos impregnados con hidrocarburos es muy elevado y el tamaño del HA. no abastece dicho volumen, por lo tanto no se pudo aumentar el **TRH**.

<sup>30</sup> **Sistema de flujo libre (FWS):** El nivel de agua está sobre la superficie del terreno.

#### 4.4.2.1. Cálculo del caudal de agua en el Humedal Artificial

El caudal ideal de ingreso de agua al HA. se obtuvo de la aplicación de la siguiente fórmula.

**TRH:** Tiempo de retención  
hidráulica en segundos (seg).

**V:** Volumen de agua a tratar en  
el HA. en litros (lit).

**Q:** Caudal de agua de ingreso  
en el HA. (lit / seg).

Despejando el caudal de la fórmula original tenemos:

\_\_\_\_\_ En donde:  $TRH = 8h \rightarrow 28\ 800\ \text{seg}$   
 $V = 23\ \text{m}^3 \rightarrow 23\ 000\ \text{lit}$

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### 4.4.2.2. Dimensionamiento del Humedal Artificial

En el estudio de Coral (2002), el tamaño de las piscinas se establece con una relación largo:ancho de 10:1 para que el flujo del agua en tratamiento cumpliera con la teoría del flujo pistón.

$$b = 10 a$$



De acuerdo con los cálculos anteriormente detallados, las dimensiones de la piscina del HA., deberían ser de 1, 81m de ancho, 18,1m de largo y 0,7m de profundidad; ya que el lecho del HA. se compone de tres capas de material pétreo, el espacio que ocupa este material le resta espacio al agua en tratamiento por lo tanto fue

necesario incrementar la profundidad de la piscina hasta 1,20m; además el largo total de la piscina es de 25m, pero al eliminar el espacio que ocupan los muros de costales que dividen a cada celda se obtuvo la dimensión calculada.

#### **4.4.3. CONSTRUCCIÓN**

La fase de construcción se desarrollo durante los meses de Octubre de 2009 hasta Febrero de 2010. El Centro de Transferencias de Tecnologías de la Universidad Técnica del Norte contribuyó con materiales, transporte y mano de obra para el desarrollo de la investigación; recursos asignados por el PRAS del Ministerio del Ambiente.

##### **4.4.3.1. Trabajos preparatorios**

- Se delimitó el área que vamos a utilizar para la implantación del humedal artificial, con la ayuda de estacas de madera y metal. (Foto 4.2.)
- Se inició el llenado y grapado de costales de arcilla para la construcción de los muros del humedal artificial. (Foto 4.3.)
- Se procedió a la adquisición de postes de madera cuyas dimensiones son (0.10m x 0.10m) y una altura de 2m, para reforzar la estructura de la piscina del humedal artificial. (Recursos entregados por el Ministerio del ambiente y gestionados por concurso de proformas).
- Se colocaron los postes de madera en el lugar donde se construirá el humedal artificial, los postes se ubicaron a una

distancia de 2m uno del otro, a lo largo de la piscina, y a una profundidad de 0.60m. (Foto 4.5.)



**Foto 4.2.** Delimitación del área para el HA.



**Foto 4.3.** Proceso de llenado de costales de arcilla.



**Foto 4.4.** Traslado de Costales hasta el Humedal Artificial



**Foto 4.5.** Realización de agujeros para la instalación de postes de madera.

**Fuente:** Autora.

- Se procedió a la colocación de alambre galvanizado en los postes de madera para soportar la presión y peso de los costales de arcilla, que constituyen el Humedal Artificial. (Foto 4.6.)

#### 4.4.3.2. Cimentación e impermeabilización

- Colocación de los costales llenos de arcilla en el lugar delimitado para la construcción del humedal artificial. (Recursos Humanos). (Foto 4.7.)
- Se realizó el corte del perfil izquierdo del estero, para completar los 2 metros de ancho que se necesita para la construcción de la piscina.
- Se construyó un dique de refuerzo, para el Humedal Artificial, el cual busca evitar que la fuerza de la corriente de agua destruya la piscina. (Foto 4.8.)
- Se trabajó en la base del HA. para darle la pendiente adecuada y así lograr que el agua en tratamiento fluya con normalidad. (Foto 4.9.)





**Fuente:** Autora.

- Para evitar que la geomembrana sufra alguna ruptura, se procedió a la colocación de tablas en la parte interna del HA. (Foto 4.10.)
- Se procedió a la colocación de los costales de arcilla, que conforman los muros divisorios entre cada celda del HA. (Foto 4.12.)
- Paralelamente a los trabajos de construcción del HA., se realizaba el acarreo de material pétreo desde el pozo Shushuqui 17 hasta la unidad experimental HA., mediante el uso de una polea. (Foto 4.11.)
- Los trabajos de impermeabilización del HA. y la instalación de la tubería, filtro combinado de zeolita-carbón activado y llenado de las celdas de material pétreo, se realizaron de forma individual en cada celda, debido a que el agua del estero aledaña al HA. ingresaba a gran velocidad e invadía el lugar de trabajo. Este proceso se realizó con la ayuda de todo el personal de campo, tesistas, coordinadores del proyecto, Dr.

Miguel Gualoto y el equipo a cargo del Sr. José Morillo (Técnico MULTIRIEGO).

- El Sr. José Morillo procedió a la colocación y anclaje de la geomembrana en todas las celdas del HA. (Foto 4.13.), cuya utilidad es impedir que el agua proveniente del estero ingrese al sistema de tratamiento y provoque modificaciones al estudio; o que el agua en tratamiento que circula por el HA. salga del mismo y contamine el estero.

	
<p><b>Foto 4.10.</b> Colocación de tablas en la parte interna del HA.</p>	<p><b>Foto 4.11.</b> Acarreo de material pétreo mediante el uso de una polea.</p>
	
<p><b>Foto 4.12.</b> Muros divisorios de costales.</p>	<p><b>Foto 4.13.</b> Colocación de la geomembrana en las celdas del HA.</p>

**Fuente:** Autora.

#### 4.4.3.3. Llenado del sistema con materiales filtrantes

- En la octava celda (filtro combinado de zeolita-carbón activado) se instalaron 3 redes de tubos a manera de cuadrícula, los cuales van ayudar a la conducción del agua contaminada a través de la celda (Foto 4.14.). Cada una de estas redes está seguida de una capa de zeolita granulada y carbón activado (Foto 4.15.), siguiendo el esquema detallado en la Fig. 4.6. (c).
- Se procedió a la colocación de caña guadua en la base de las 7 celdas restantes del HA. simulado una tubería, cuya finalidad es conducir el agua en tratamiento de una celda a otra. (Foto 4.16.)
- Se realizó el llenado de las celdas con las 3 diferentes clases de material pétreo, se colocó una capa de 0.30m de piedra bola en la base, una capa intermedia de 0.20m de grava  $\frac{3}{4}$ , y finalmente una capa superior de 0.30m de arena, de acuerdo al esquema detallado en la Fig. 4.5. (Foto 4.17).



**Foto 4.14.** Instalación de la tubería de transporte.



**Foto 4.15.** Colocación de una capa de zeolita y carbón activado.



**Fuente:** Autora.

La Foto 4.18. Muestra al HA., construido en su totalidad, segmentado en las ocho celdas que lo componen, impermeabilizado, y relleno de los diferentes materiales filtrantes. EL sistema de tratamiento está listo para la implantación de macrófitas acuáticas y posteriormente para dar inicio al tratamiento de agua contaminada.

**Foto. 4.18.** Humedal Artificial construido.



**Fuente:** Autora.

#### 4.4.3.4. Implantación de especies acuáticas en el Humedal Artificial

Una vez terminada la construcción del Humedal Artificial se procedió a la recolección de algunas especies vegetales capaces de absorber metales pesados e hidrocarburos, para después ser plantadas en el Humedal Artificial y proceder al tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. (Foto 4.19. y 4.20.)

Para implantar la vegetación en el HA. se utilizó la técnica “Plantación” en la cual se colocan individuos con desarrollo avanzado, ya que se evitan las posibles enfermedades y plagas que pueden afectar a las primeras fases del desarrollo, como se detalla en el **capítulo II Marco Teórico**.

Después de haber obtenido las tres especies acuáticas que participan en esta investigación, se continuó con su la colocación en el HA. (Foto 4.21. y 4.22.), siguiendo el orden detallado en la figura Fig. 4.7.





**Fuente:** Autora.

La Foto 4.23 muestra al HA. con todas las especies acuáticas plantadas, que deberán adaptarse a las condiciones ambientales y cumplir las funciones por las cuales fueron seleccionadas.

**Foto. 4.23.** Humedal Artificial con las especies acuáticas implantadas.



**Fuente:** Autora.

#### **4.4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL**

En la presente investigación no se pudo realizar un diseño experimental, ya que los recursos económicos eran limitados y no podían financiar la construcción de varias unidades experimentales (Humedales Artificiales) y comparar sus resultados entre sí; sin embargo se utilizó un análisis estadístico descriptivo para evaluar el sistema en conjunto, en donde se analizó la calidad del agua a la entrada del humedal artificial y a la salida una vez que las especies vegetales y los tamices moleculares han realizado su trabajo de depuración, se compararon los valores iniciales y finales en busca de estimar la eficiencia del sistema en la remoción de contaminantes propios de aguas contaminadas con hidrocarburos.

#### **4.4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

El agua contaminada que llega al sistema de tratamiento proviene del proceso de lavado de suelos, que se realiza en el pantano que fue afectado por el derrame producido por la ruptura de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13. (Foto 4.24)

El agua después del lavado se acumula en una represa provisional, que se construyó para evitar que se contamine el estero; seguidamente ésta llega a un tanque de polietileno para su recolección y bombeo hacia el HA., mediante el uso de una bomba eléctrica. (Foto 4.25)

Por último el agua ingresa al sistema de tratamiento para ser depurada mediante fitorremediación y filtración (Foto 4.26), y luego ser vertida a un segundo tanque de polietileno, en donde se controlan los parámetros de estudio y se verifica si el agua es apta o no para ser vertida directamente a un cuerpo de agua (Foto 4.27).

**Foto. 4.24.** Lavado de suelos en el pantano contaminado.



**Fuente:** Autora.

**Foto. 4.25.** Represa provisional y tanque de almacenamiento de agua contaminada.



**Fuente:** Autora.



**Foto 4.26.** Ingreso de agua al sistema de tratamiento HA. Celda 1.



**Foto 4.27.** Tanque de control a la salida del sistema.

**Fuente:** Autora.

#### 4.4.6. TRATAMIENTO

En la presente investigación se realizó un tratamiento combinado que consistió en dos fases, la primera se basó en fitorremediación con diferentes especies (Cuadro 4.10.), y la segunda en filtración a través de tamices moleculares (zeolita y carbón activado), esta fase se desarrolló en la celda 8 del humedal artificial.

**Cuadro 4.10.** Tratamiento de fitorremediación, aplicado al proceso de descontaminación de aguas con hidrocarburos.

MODULO	N ° CELDA	ESPECIE VEGETAL
A	1 - 2	<i>Panicum maximum</i>
B	3 - 4	<i>Eleocharis elegans</i>
C	5 - 6	<i>Limnocharis Flava</i>
D	7	Especies en Asociación ( <i>Panicum maximum</i> , <i>Eleocharis elegans</i> y <i>Limnocharis Flava</i> )

**Elaborado:** Autora.

En la Foto 4.28, se puede observar al Humedal Artificial en funcionamiento, el agua contaminada está circulando a través de todo el sistema, la foto muestra la celda 1 y celda 2, que conforman la parte inicial del HA.

**Foto. 4.28.** Humedal Artificial en funcionamiento.



**Fuente:** Autora.

#### **4.5. PLAN DE MUESTREO**

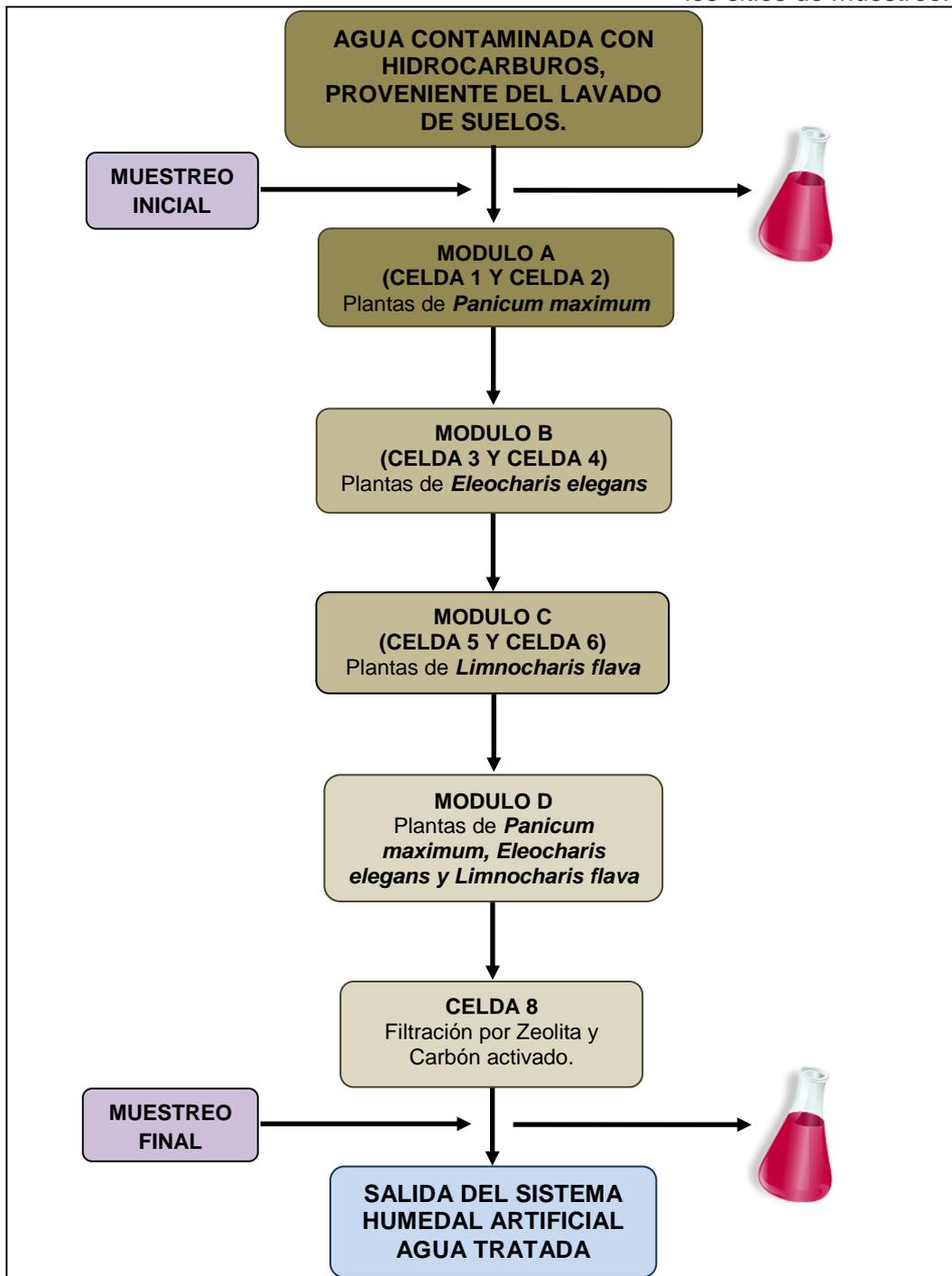
Se estableció un cronograma de muestreo de las aguas contaminadas con hidrocarburos que ingresan al sistema de tratamiento HA.; éste consiste en cinco repeticiones, con una frecuencia de 1 día entre cada repetición.

Los puntos de muestreo fueron dos: el primero se realizó en el ingreso del agua proveniente del lavado de suelos al HA.; y el segundo a la salida del sistema de tratamiento. (Fig. 4.11.).

Las muestras iniciales se tomaron a las 8h00 y las finales a las 16h00, durante los cinco días de prueba; cumpliendo con las ocho horas de TRH, por el cual fue diseñado el HA.

Este plan de muestreo busca determinar la eficiencia del sistema trabajando en conjunto; ya que se pudo evaluar la calidad de agua en el ingreso al HA. y compararla a la salida, y así poder determinar el porcentaje de remoción de cada parámetro en estudio.

**Fig. 4.11.** Esquema general del sistema HA. de flujo horizontal y de los sitios de muestreo.



Elaborado: Autora.

#### 4.5.1. COLECTA DE MUESTRAS

Se tomaron muestras simples y la cantidad de agua para análisis fue de 1,75 litros por punto, esta cantidad se debe a que, el laboratorio OSP<sup>31</sup> de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, necesitaba que se le envíe las muestras en frascos diferenciados dependiendo del parámetro que se requiere analizar, como se detalla en el cuadro 4.11. (Foto 4.30.)

**Cuadro 4.11.** Tipo de frascos para el envío de muestras de agua contaminada.

TIPO	TAMAÑO	PARÁMETROS
Vidrio ámbar	1000 ml	TPH y DQO
Vidrio ámbar	500 ml	Metales pesados (Ba, Cr, Pb, V)
Plástico	250 ml	pH, CE, ST

**Elaborado:** Autora.



**Foto 4.29.** Recolección de muestra a la salida del sistema de tratamiento HA.

**Foto 4.30.** Frascos utilizados para la toma de muestras.

**Fuente:** Autora.

<sup>31</sup> **OSP:** Oferta de Servicios y Productos.

Existieron algunos parámetros que se midieron en campo como el pH, conductividad eléctrica y temperatura, con equipos proporcionados por el CTT-FICAYA auspiciante de la presente Tesis.



**Foto 4.31.** Medición de parámetros en campo.

**Foto 4.32.** Medición de CE y T del agua en tratamiento.

**Foto 4.33.** Medición de pH del agua en tratamiento.

**Foto 4.34.** Medición de pH con la ayuda de tiras indicadoras de pH.

**Fuente:** Autora.

#### 4.5.2. CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

Las técnicas de conservación empleadas, en general retardan los cambios químicos y biológicos de las muestras, cambios que inevitablemente ocurren al remover las muestras de su lugar de origen.

Los métodos de conservación comunes son control del pH, adición química, refrigeración y congelación.

Para evitar que las muestras de agua se alteren por el tiempo que transcurre entre la colecta y transporte desde el lugar de la investigación en Shushuqui, hasta el laboratorio de análisis en Quito, fue necesario conservarlas con Acido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y Acido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), como se muestra en el cuadro 4.12. (Foto 4.35. y Foto 4.36.)

**Cuadro 4.12.** Dosis de ácidos aplicados para conservar en las muestras de agua.

PARÁMETROS	CANTIDAD DE MUESTRA	DOSIS DE CONSERVANTE	TIPO DE CONSERVANTE
TPH y DQO	1000 ml	1 ml	Ac. Sulfúrico
Metales pesados (Ba, Cr, Pb, V)	500 ml	1 ml	Ac. Nítrico
pH, CE, ST	250 ml	-	-

**Elaborado:** Autora.



**Fuente:** Autora.

Las muestras para análisis de pH, CE y ST no fue necesario conservarlas, ya que para analizarlas es necesario que las muestras sean puras y si se agrega algún conservante se estaría modificando la muestra.

Además todas las muestras fueron enviadas en hieleras selladas y con hielo artificial Coleman, para garantizar la refrigeración.

#### 4.5.3. ENVÍO DE MUESTRAS

Las muestras se recolectaron y se enviaron diariamente en transportes Esmeraldas, desde la ciudad de Lago Agrio hasta la ciudad de Quito, en donde fueron transportadas hasta las instalaciones del laboratorio OSP de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador y así proceder a su respectivo análisis.

Adicionalmente las muestras fueron enviadas con su respectiva cadena de custodia, indicando en ella los parámetros que se desean analizar. (Anexo 4.1.)

#### 4.5.4. ANÁLISIS DE MUESTRAS

Los análisis de las muestras de agua se realizaron en el laboratorio OSP de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador en Quito.

La metodología de análisis empleada para cada parámetro se especifica en el Cuadro 4.13.

**Cuadro 4.13.** Metodología empleada para el análisis de los parámetros físico-químicos.

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO
Potencial Hidrogeno	-	APHA4500 H+B
Conductividad eléctrica	μS / cm	APHA2510 B
Hidrocarburos totales	mg/l	EPA418.1
Demanda química de oxígeno	mg/l	APHA5220 C
Sólidos totales	mg/l	APHA2540 B
Bario	mg/l	APHA3111 D
Cromo (total)	mg/l	APHA3111 B
Plomo	mg/l	APHA3111 B
Vanadio	mg/l	APHA3111 B

**Fuente:** Análisis en laboratorio OSP de Universidad Central.

#### 4.6. CONTROL DE PARÁMETROS.

En el sistema de tratamiento de aguas se realizó el control periódico In-Situ de algunos parámetros que influyen en forma directa en los procesos de remediación ambiental de aguas contaminadas con hidrocarburos, entre los parámetros de control tenemos a:

- Temperatura
- pH
- Conductividad.

Los parámetros fueron medidos durante los cinco días previos a la toma de muestras que se enviaron a laboratorio. Las mediciones muestran que, los valores se mantuvieron dentro de los rangos ideales para garantizar una buena tasa de biodegradación.

En el cuadro 4.14 se muestran los valores de las mediciones realizadas a la entrada del sistema de tratamiento Humedal Artificial y a la salida.

**Cuadro 4.14.** Valores de mediciones realizadas en campo, a la entrada y salida del sistema Humedal Artificial.

FECHA	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	T °C	pH	CE ( $\mu$ S/cm)
22/03/2010	M1	Afluente	27,7	6,0	15,5
		Efluente	27,8	7,2	242,5
23/03/2010	M2	Afluente	29,8	6,0	18,0
		Efluente	29,8	7,4	245,5
24/03/2010	M3	Afluente	28,7	6,0	25,0
		Efluente	28,4	7,3	231,0
25/03/2010	M4	Afluente	27,4	6,1	23,5
		Efluente	28,8	7,1	232,5
26/03/2010	M5	Afluente	24,2	6,4	12,5
		Efluente	25,0	7,2	141,0

**Elaborado:** Autora.

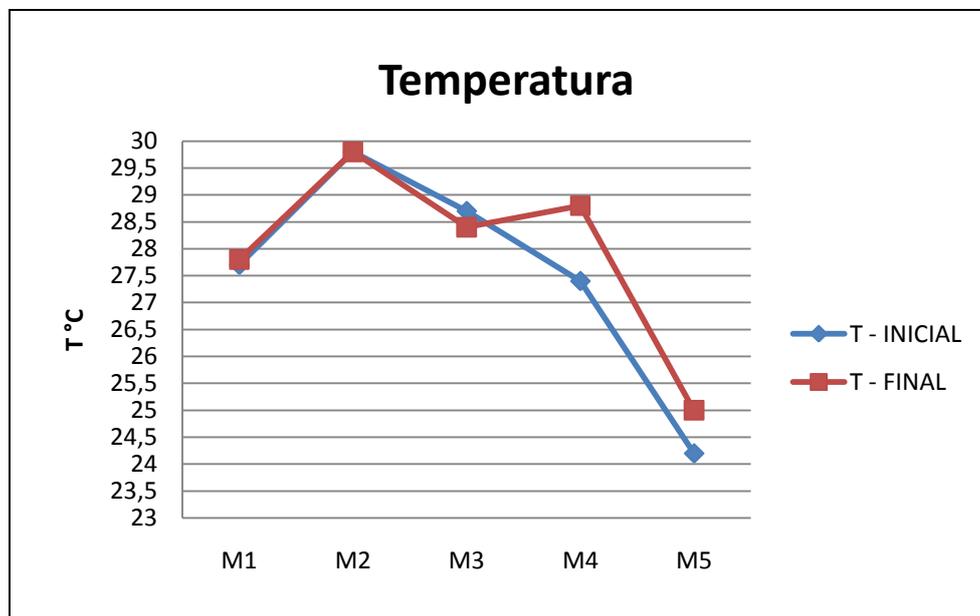
En el cuadro 4.15 y en el gráfico 4.1 se ilustra el comportamiento de la temperatura en los días de monitoreo.

**Cuadro 4.15.** Valores de temperatura del muestreo In-Situ.

FECHA	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	T °C
22/03/2010	M1	Afluente	27,7
		Efluente	27,8
23/03/2010	M2	Afluente	29,8
		Efluente	29,8
24/03/2010	M3	Afluente	28,7
		Efluente	28,4
25/03/2010	M4	Afluente	27,4
		Efluente	28,8
26/03/2010	M5	Afluente	24,2
		Efluente	25

**Elaborado:** Autora.

**Gráfico 4.1.** Comportamiento de la Temperatura en el afluente y efluente durante el muestreo In-Situ.



**Elaborado:** Autora.

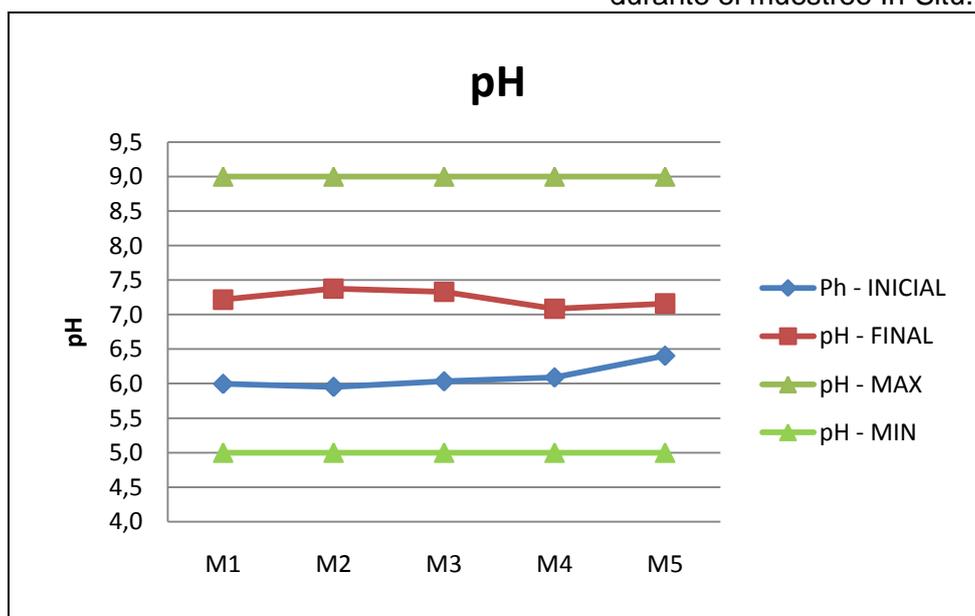
En cuanto al pH, las mediciones realizadas a la entrada y salida del humedal artificial no exceden los límites establecidos en la legislación ambiental vigente; en el afluente los valores se mantuvieron la mayoría del tiempo ligeramente ácidos, en cambio en el efluente los valores obtenidos fueron neutros, como se indica en el cuadro 4.16 y el gráfico 4.2.

**Cuadro 4.16.** Valores de pH del muestreo In-Situ.

FECHA	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	pH
22/03/2010	M1	Afluente	6,0
		Efluente	7,2
23/03/2010	M2	Afluente	6,0
		Efluente	7,4
24/03/2010	M3	Afluente	6,0
		Efluente	7,3
25/03/2010	M4	Afluente	6,1
		Efluente	7,1
26/03/2010	M5	Afluente	6,4
		Efluente	7,2

Elaborado: Autora.

**Gráfico 4.2.** Comportamiento del pH en el afluente y efluente durante el muestreo In-Situ.



Elaborado: Autora.

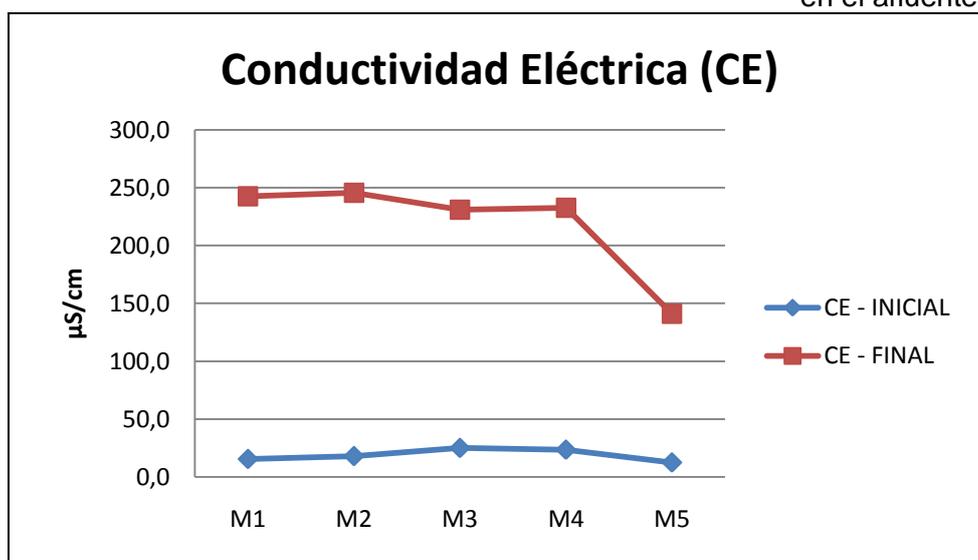
Los valores de la conductividad, también son ideales pese a que las aguas de lavado de hidrocarburos generalmente contienen elevadas concentraciones de sales, la aparente razón fue que la contaminación es antigua, por lo que las sales pudieron agregarse al sustrato. El efluente presentó un ligero incremento, sin embargo estos son relativamente bajos y no inciden sobre el proceso de remediación, como se muestra en el cuadro 4.17 y el gráfico 4.3.

**Cuadro 4.17.** Valores de conductividad eléctrica del muestreo In-Situ.

FECHA	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )
22/03/2010	M1	Afluente	15,5
		Efluente	242,5
23/03/2010	M2	Afluente	18,0
		Efluente	245,5
24/03/2010	M3	Afluente	25,0
		Efluente	231,0
25/03/2010	M4	Afluente	23,5
		Efluente	232,5
26/03/2010	M5	Afluente	12,5
		Efluente	141,0

**Elaborado:** Autora.

**Gráfico 4.3.** Comportamiento de la conductividad eléctrica en el afluente



**Elaborado:** Autora.

Los resultados obtenidos del monitoreo de estos tres parámetros, nos muestra que los materiales empleados en la construcción del sistema de tratamiento, permitieron la variación de los mismos dentro de rangos tolerables, sin que sus valores incidan negativamente sobre el trabajo de remediación.

## **5. CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación se exponen los resultados que se obtuvieron en la presente investigación, en relación a los objetivos planteados; además se muestra un análisis comparativo de los parámetros que fueron sujeto de medición, para comprobar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos (Humedal Artificial).

### **5.1. Diseño y construcción de un sistema físico-biológico experimental de tratamiento de aguas.**

Se diseñó y se construyó un sistema de tratamiento que combina la actividad fitorremediadora de plantas acuáticas y la acción filtrante de tamices moleculares.

El humedal artificial posee un tamaño de 25m de lago x 2,5m de ancho y logra tratar 23 m<sup>3</sup>/día de aguas contaminadas, con un tiempo de retención hidráulica de 8 horas.

El sistema consta de ocho celdas totalmente impermeabilizadas, en las cuales el agua en tratamiento circula siguiendo un movimiento ondulatorio; en las siete primeras celdas se implantaron tres especies diferentes de plantas acuáticas, y en la octava se instaló un filtro especializado de zeolita y carbón activado.

El humedal artificial se encuentra en correcto funcionamiento y realizando el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos, en la comunidad Shushuqui, parroquia Pacayacu, provincia de Sucumbíos, como se muestra en la foto 5.1.

**Foto. 5.1.** Humedal Artificial en funcionamiento.



**Fuente:** Autora.

## **5.2. Emplear especies vegetales idóneas para el tratamiento biológico de aguas contaminadas con hidrocarburos.**

En la zona de estudio se registró gran diversidad de especies acuáticas que habitan en humedales naturales propios de la región amazónica, se realizó su identificación y posteriormente su comparación en fuentes bibliográficas buscando cual poseía una mayor capacidad degradadora.

En el Humedal Artificial construido, se emplearon tres especies de plantas acuáticas que intervinieron en la disminución de los contaminantes presentes en el agua; pasto (*Panicum maximum*), junquillo de agua (*Eleocharis elegans*), y lirio acuático (*Limnocharis flava*); estas especies registran antecedentes positivos en sistemas de depuración de aguas residuales domésticas e industriales, lo cual fue comprobado en esta

investigación, ya que las plantas trabajaron correctamente y permitieron la reducción de los contaminantes presentes.

*Panicum maximum* presentó un alto crecimiento y adaptabilidad en el HA, desarrolló un sistema radicular fuerte y resistente a las condiciones de contaminación. Su tamaño alcanzó al 1.5 m de alto y con gran producción foliar.

*Eleocharis elegans* se desarrollo correctamente en el sistema, aunque tuvo un crecimiento menor en relación a la especie anterior, ya que algunos tallos se podaron y no continuaron creciendo sino que, dieron lugar a la germinación de nuevos individuos. Su tamaño alcanzó al 1m de alto.

*Limnocharis flava* presentó una buena adaptabilidad al medio aunque produjeron algunos inconvenientes en cuanto a su estadía, ya que es una planta que se desarrolla en aguas semiestancadas y el agua en el sistema no cumplía éste requisito debido a que el TRH era de 8 horas.

### **5.3. Utilización de tamices moleculares.**

La octava celda del sistema de tratamiento humedal artificial constituye un filtro especializado en donde se utilizó dos tamices moleculares zeolita malla 80 y carbón activado granulado malla 80.

Estos tamices según la literatura son ideales para retener contaminantes, adsorber e inmovilizar metales pesados, olores y sabores no deseados; además de ser muy utilizados en la potabilización de agua, saneamiento de aguas subterráneas y tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales, etc.

Como se detalló anteriormente el agua contaminada no registraba niveles importantes de contaminación con metales pesados por lo que no fue posible probar el filtro, pero si se pudo verificar que el espejo iridiscente característico de hidrocarburos se eliminó totalmente del agua.

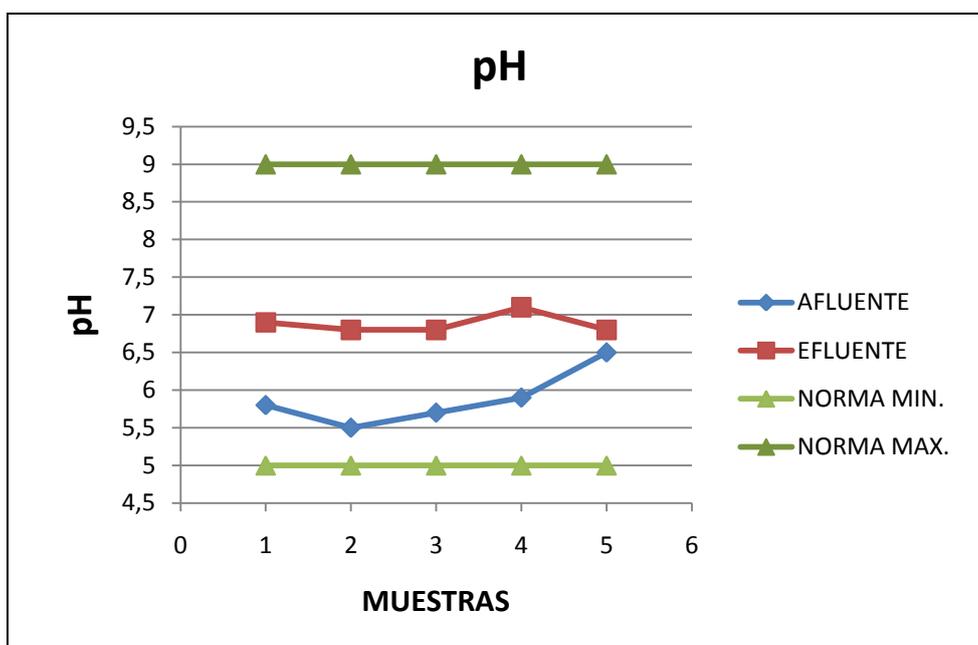
## 5.4. Evaluación de la eficiencia del Humedal Artificial en la remoción de contaminantes.

Los siguientes apartados muestran cuadros y gráficos que facilitarán la observación de los resultados obtenidos en el periodo de estudio, son datos que se obtuvieron de los análisis de las muestras del agua que se enviaron al laboratorio OSP de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador.

### 5.4.1. pH

Para el caso del pH sus valores se mantuvieron dentro del rango permisible en la norma RAHO1215, tal como se observa en el gráfico 5.1 el pH de salida se mantuvo estable a medida que transcurrió el período de estudio, pero siempre fue mayor que el pH del afluente.

**Gráfico 5.1.** Comportamiento del pH en el afluente y efluente durante el período de estudio.



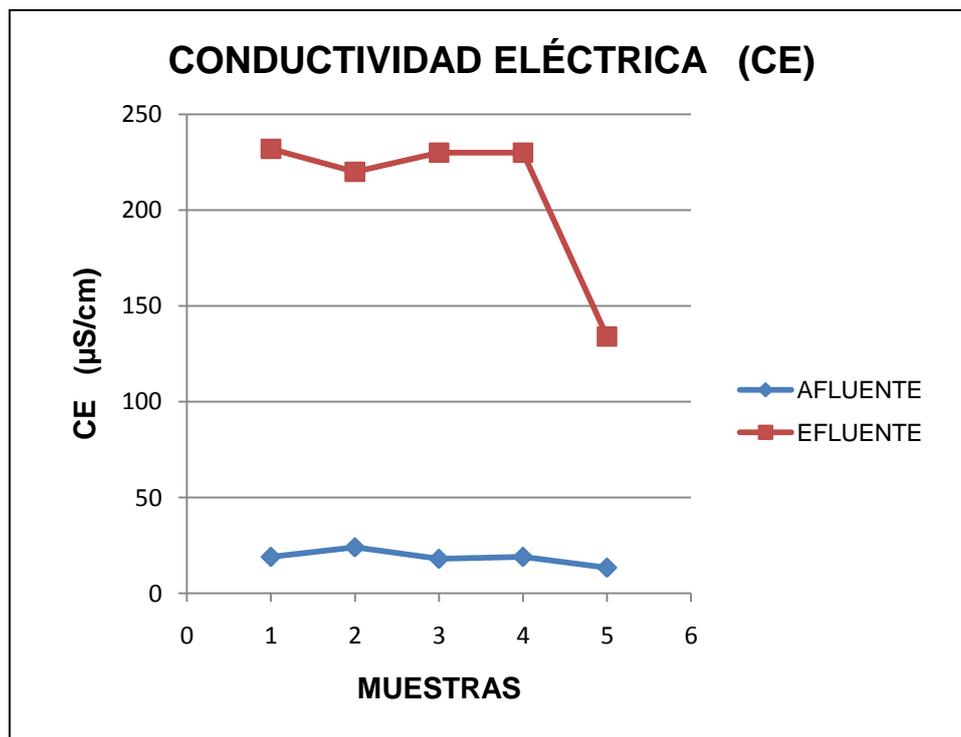
Elaborado: Autora.

### 5.4.2. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad del efluente es mayor a la del afluente, se podría decir que se debe a que los tamices liberan sales por la fricción que se genera al contacto con el agua, a medida que fluye por el sistema; a pesar que sus valores se incrementan una vez que el agua ingresa al HA., no superan los límites establecidos en la legislación ambiental, que establece un valor máximo de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El gráfico 5.2 muestra que hay un aumento progresivo en los valores del efluente pero en la muestra M5 este valor desciende a menos de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , hecho que testifica a favor de que el sistema empieza a trabajar en forma conjunta con las plantas empleadas en el tratamiento.

**Gráfico 5.2.** Comportamiento de la CE en el afluente y efluente durante el período de estudio.

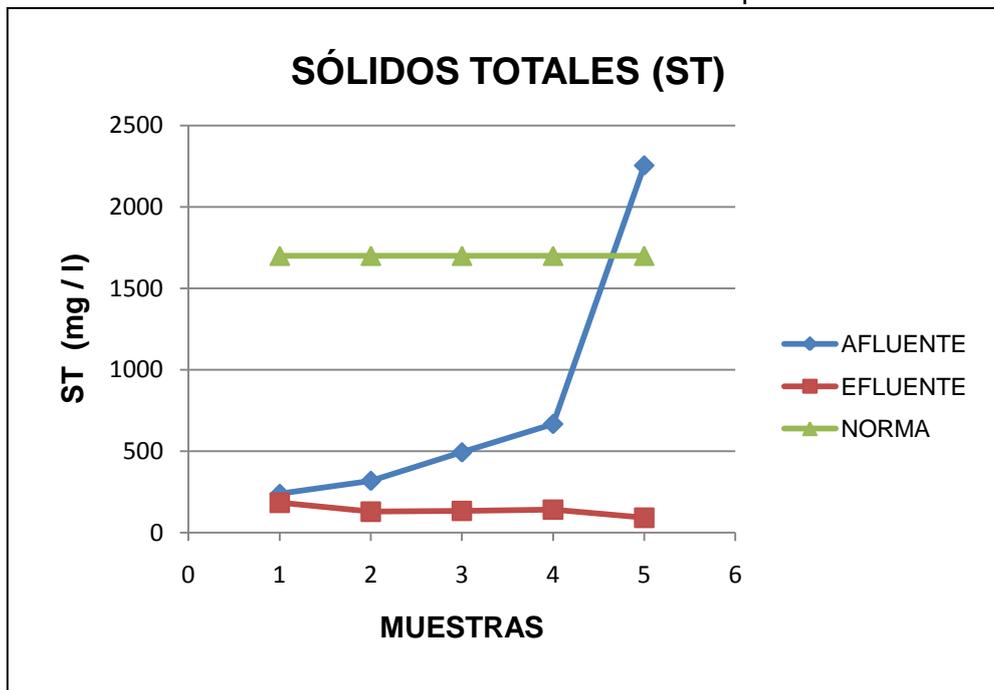


Elaborado: Autora.

### 5.4.3. Sólidos Totales (ST)

El gráfico 5.3 muestra el comportamiento de los sólidos al pasar a través del HA.; se registraron valores altos de sólidos en el afluente los cuales superaban la norma en algunas unidades, que se redujeron notablemente a la salida.

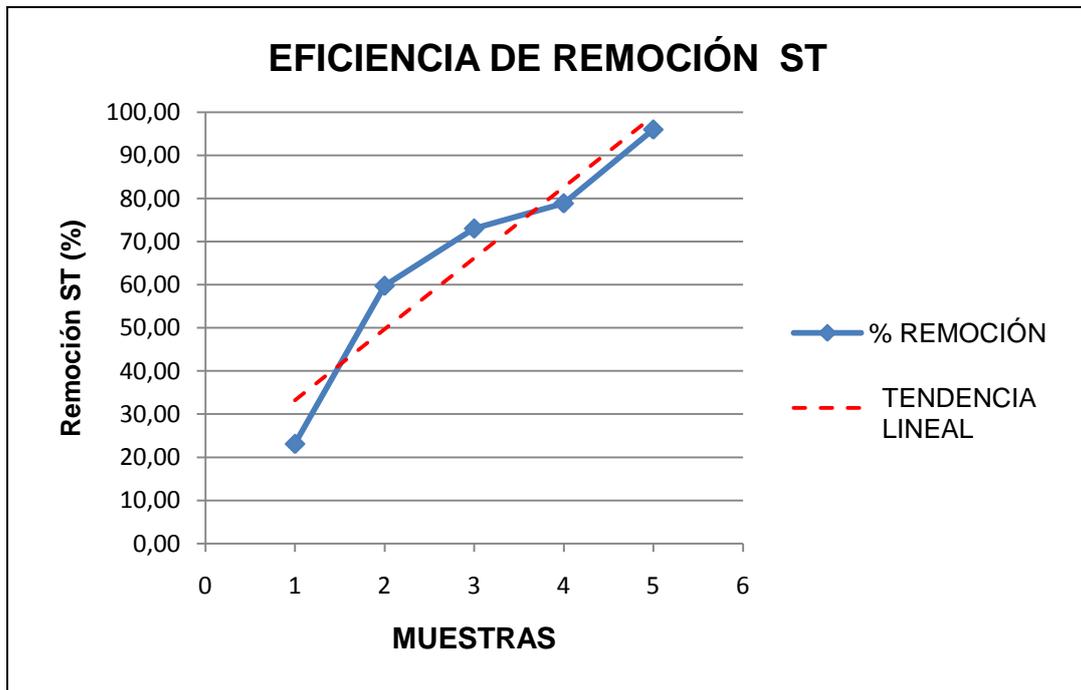
**Gráfico 5.3.** Comportamiento de ST en el afluente y efluente durante el período de estudio.



**Elaborado:** Autora.

La eficiencia del sistema para la remoción de sólidos presente en las aguas de lavado de suelos, fue aumentando conforme éste se estabilizaba como se puede observar el gráfico 5.4. Se obtuvieron remociones de hasta el 95%, lo cual indica que el HA. cumple con el objetivo planteado en su construcción, que fue actuar como un filtro en el que se ocurren procesos de sedimentación y adsorción facilitando la remoción de los sólidos.

**Gráfico 5.4.** Variación de la eficiencia de remoción de ST en el período de estudio.

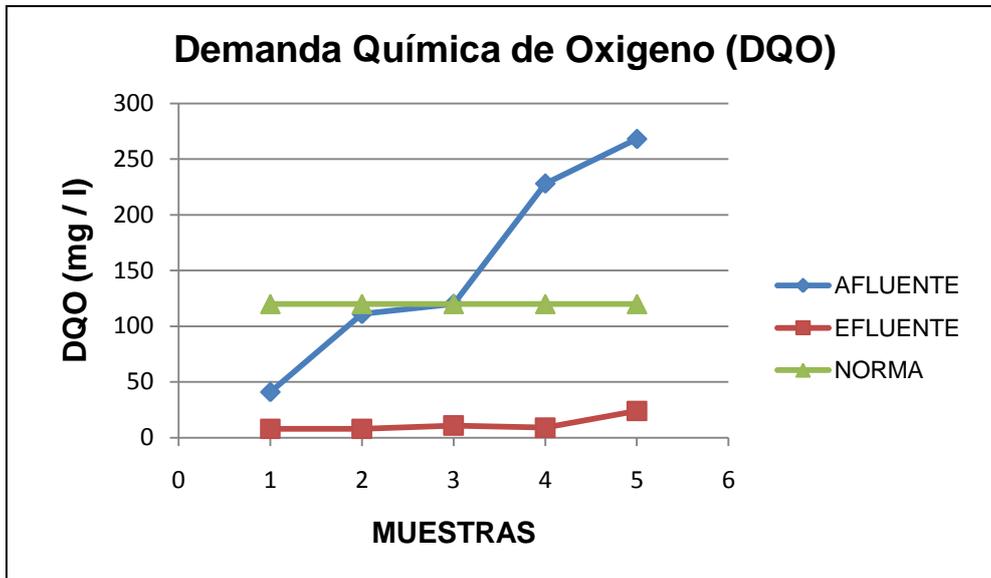


**Elaborado:** Autora.

#### 5.4.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

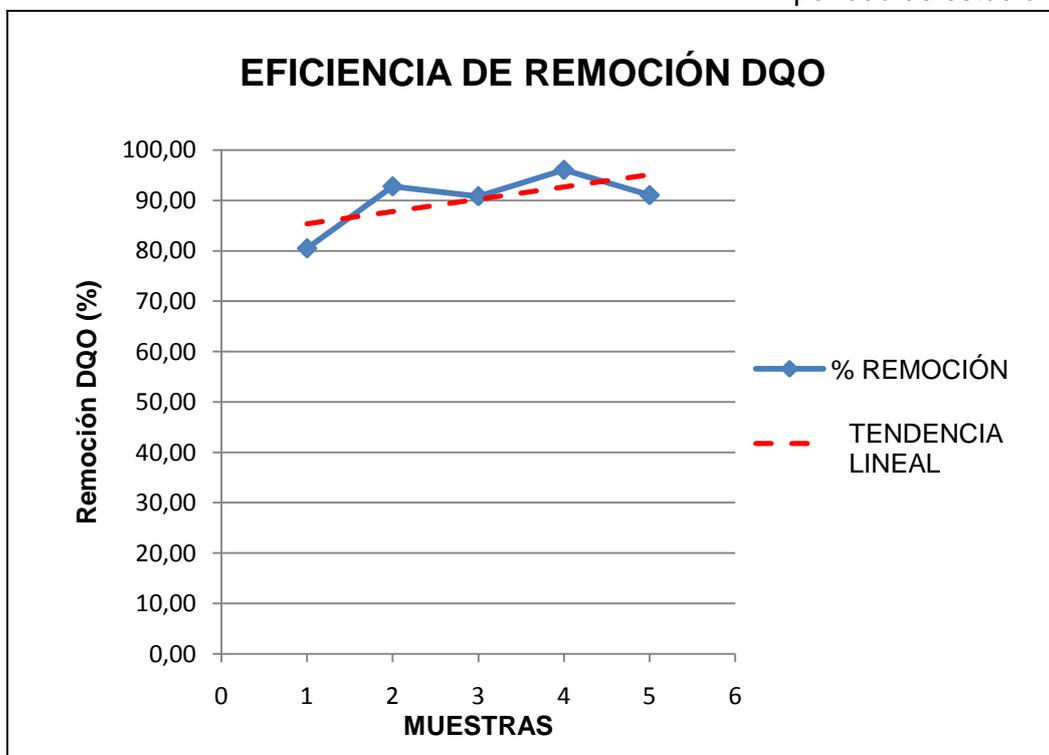
Los valores de DQO del afluente son relativamente mayores a los valores del efluente guardando una proporcionalidad entre ellos como se observa en el gráfico 5.5. Tres valores de las muestras a la entrada del sistema superaron en algunas unidades a los límites establecidos en la norma RAHO 1215, al igual se puede observar que los valores de DQO a la salida del HA. son bajos mostrando una buena eficiencia en relación a este parámetro.

**Gráfico 5.5.** Comportamiento de DQO en el afluente y efluente durante el período de estudio.



Elaborado: Autora.

**Gráfico 5.6.** Variación de la eficiencia de remoción de DQO en el período de estudio.



Elaborado: Autora.

El gráfico 5.6 muestra la eficiencia de remoción del DQO por parte del HA., la cual va aumentando conforme se estabiliza el sistema, exponiendo remociones de hasta 96%.

Adicionalmente se puede observar que la eficiencia no varía en gran magnitud entre una muestra y otra, obteniéndose valores altos pero al mismo tiempo casi semejantes.

#### 5.4.5. Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

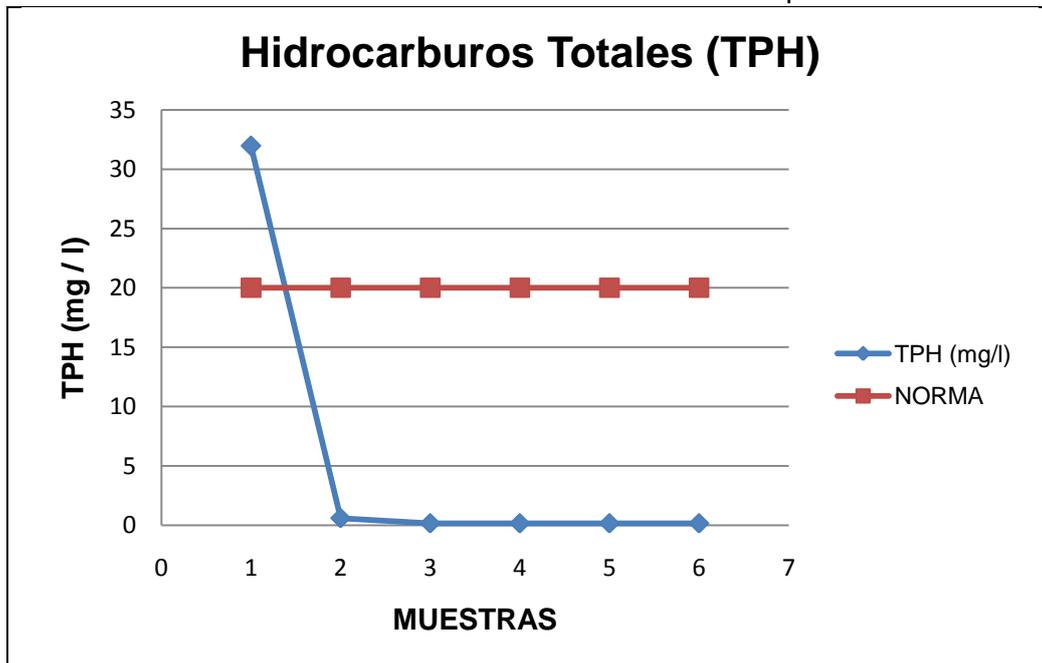
El valor de TPH de la muestra inicial supera en 11,97 mg/l, al límite establecido en la norma RAHO 1215, debido a que el agua provenía del lavado de suelos impregnados con hidrocarburos en su estado relativamente puro. El sistema muestra eficiencia en la eliminación de este contaminante ya a las primeras 8 horas de tiempo de retención, tal como se muestra en el cuadro 5.1 y gráfico 5.7 adjunto.

**Cuadro 5.1.** Valores de TPH en el periodo de estudio.

FECHA	MUESTRA	TPH (mg/l)	% REMOCIÓN	NORMA
22/03/2010	INICIAL	31,97	-	< 20
22/03/2010	FINAL 1	0,59	98,15	< 20
23/03/2010	FINAL 2	0,15	99,53	< 20
24/03/2010	FINAL 3	0,15	99,53	< 20
25/03/2010	FINAL 4	0,15	99,53	< 20
26/03/2010	FINAL 5	0,15	99,53	< 20

**Elaborado:** Autora.

**Gráfico 5.7.** Comportamiento de TPHs en el afluente y efluente durante el período de estudio.



**Elaborado:** Autora.

#### 5.4.6. Metales pesados.

La investigación estaba orientada a demostrar la efectividad de los humedales artificiales para depurar aguas que contienen importantes cantidades de metales pesados, sin embargo, las aguas de lavado de suelos del derrame de la Línea de Flujo del Pozo Shushuqui 13, no poseían cantidades importantes de estos elementos, razón por la que esta hipótesis no pudo ser sometida a prueba.

En el cuadro 5.2 se puede observar los resultados referentes a metales pesados obtenidos durante el periodo de estudio y su relación con los límites permisibles en la norma ambiental RAHO 1215.

**Cuadro 5.2.** Valores de metales pesados, obtenidos durante el estudio.

MUESTRA	DESCRIPCIÓN	BARIO (mg/l)	CROMO (mg/l)	PLOMO (mg/l)	VANADIO (mg/l)
	<b>NORMA</b>	<b>&lt; 5</b>	<b>&lt; 0,5</b>	<b>&lt; 0,5</b>	<b>&lt; 1</b>
M1	Afluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
	Efluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
M2	Afluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
	Efluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
M3	Afluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
	Efluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
M4	Afluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
	Efluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
M5	Afluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83
	Efluente	< 0,18	< 0,04	< 0,09	< 0,83

**Elaborado:** Autora.

Se ha propuesto al CTT-FICAYA de la Universidad Técnica del Norte realizar un ensayo individual transportando aguas de formación desde la estación de bombeo Shushuqui, pozo 17, hasta el humedal artificial; con la finalidad de evaluar su capacidad de remoción en relación a metales pesados.

Se tiene la seguridad que el sistema de tratamiento HA. que combina la acción conjunta de materiales filtrantes (inertes) y plantas (propias de espacios anegados de la zona), permitirán el tratamiento en forma eficiente de aguas contaminadas con metales pesados, por cuanto existen decenas de trabajos y proyectos reales ejecutados en el país y el mundo, que demuestran la validez de estos sistemas para captar o biomineralizar metales pesados.

## 5.5. Determinación de los parámetros cinéticos del sistema de tratamiento.

Los parámetros cinéticos que se calculan a continuación proporcionan una explicación de la forma en que los Hidrocarburos Totales de Petróleo se degradan en el sistema de tratamiento.

### 5.5.1. Tasa de biodegradación de TPHs

Se utiliza la ecuación modificada de Monod:

$$\ln C_0/C = m \text{Max.Bo}/Y \times t = kt$$

$$\ln C_0/C = \ln 31,97 / 0,59 = 3,99$$

$$\ln 31,97 / 0,15 = 5,36$$

**Cuadro 5.3.** Tasa de biodegradación (k) de TPHs

Tiempo (días)	ln Co/C	TPHs ppm
0	0,00	31,97
1	3,99	0,59
2	5,36	0,15
3	5,36	0,15
4	5,36	0,15
5	5,36	0,15

**k** = Pendiente

$$k = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$$

$$\rightarrow k = (5,36 - 3,99) / (5 - 1)$$

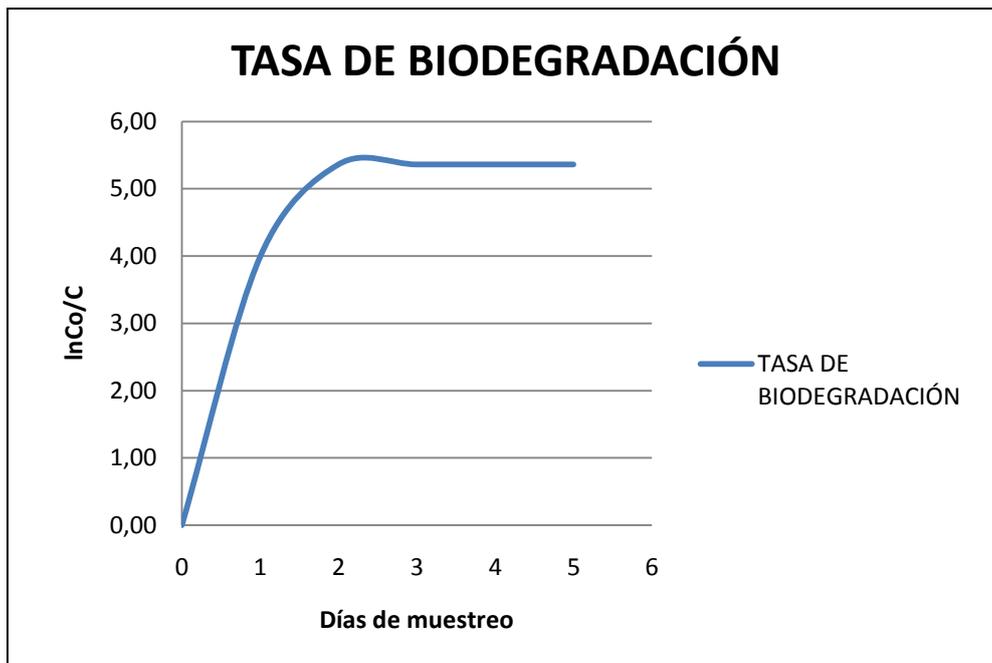
$$k = 1,37 / 4$$

$$k = 0,34$$

Elaborado: Autora.

Lo cual significa que cada día desaparece una fracción de TPHs equivalente a 0,34.

**Gráfico 5.8.** Tasa de biodegradación de TPHs durante el período de estudio.



**Elaborado:** Autora.

Si se compara el gráfico 5.7 y el gráfico 5.8 se puede observar que la concentración de TPHs desciende, en tanto que la tasa de biodegradación aumenta. La tasa de biodegradación fue calculada mediante las ecuaciones de cinética comúnmente empleadas en trabajos de biorremediación.

### 5.5.2. Tiempo de degradación

Se utiliza la ecuación:

$$t = -1 / [K * \ln (C/Co)]$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$t = -1 / [0,34 * \ln (0,15 / 31,97)]$$

$$t = -1 / [0,34 * (- 5,36)]$$

$$t = -1 / [-1,82]$$

$$t = 0,54 \text{ días}$$

El cálculo anterior muestra que el tiempo de vida media de los residuos tratados por el sistema es equivalente a 0,54 días, esto significa que, transcurrida esta fracción de tiempo se ha eliminado aproximadamente la mitad de los residuos presentes.

La posibilidad de encontrar en el agua niveles de TPHs superiores a los encontrados en el presente caso de estudio, son limitadas, por cuanto la solubilidad de los hidrocarburos es alta. Tan solo en aguas de formación que se hallan a altas temperaturas y en contacto permanente con el petróleo por millones de años, se evidencian altas concentraciones de TPHs y metales pesados.

## 6.CAPITULO VI: COSTOS Y BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 6.1. COSTOS

Los costos directos de la implementación del sistema de tratamiento Humedal Artificial se detallan en los cuadros 6.1, 6.2 y 6.3, valores monetarios que se emplearon en la construcción del sistema, equipos, compra de materiales filtrantes y de muestreo, análisis de laboratorio, mano de obra y honorarios profesionales de los asesores.

**Cuadro 6.1.** Detalle de costos de implementación del sistema de tratamiento de aguas Humedal Artificial.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Palas	4 u	14,00	56,00
Picos	2 u	13,50	27,00
Sacabocados	2 u	16,80	33,60
Barra	2 u	19,04	38,08
Postes de madera (0,08m x 0,08m x 2m)	28 u	1,00	28,00
Costales de yute (50 Kg)	700	0,20	140,00
Costales de yute (25 Kg)	500	0,15	75,00
Alambre Galvanizado #12	100 m	105,84	211,68
Grapadoras industriales	3 u	47,04	141,12
Grapas industriales	4 cajas	14,00	56,00
Tablas de madera	82 u	1,50	123,00
Postes de madera (0,15m x 0,15m x 2m)	50 u	2,50	125,00
Malla metálica	20 m <sup>2</sup>	2,86	57,20
Geomembrana	420 m <sup>2</sup>	7,39	3103,80
Tubos de presión 4"	12 m	9,78	117,36
Abrazaderas de plástico	100	0,23	23,00
Caña guadúa	70 m	0,60	42,00
Tubo de presión 2"	36 m	4,14	149,04
Tee de presión 2"	60	3,45	207,00

Cruz de presión 2"	30	13,44	403,20
Codo de presión 50x90	30	2,72	81,60
Codo de presión 50x45	18	3,01	54,18
Reductores 75 x 50	4	2,69	10,76
Reductores 90 x 75	4	4,26	17,04
Alumband	1	15,00	15,00
Malla saram	10 m2	5,50	55,00
Tanque polietileno 1000 litros	2	167,73	335,46
Manguera 2"	35 m	1,68	67,20
Bomba de eléctrica 1.5 HP	1	186,00	186,00
<b>SUBTOTAL:</b>			5979,32
<b>MATERIALES FILTRANTES</b>			
	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Piedra bola	9,69 m3	7,00	70,00
Grava ¾	6,46 m3	10,70	70,00
Arena lavada de río	9,69 m3	7,00	70,00
Carbón Activado malla 80	40 sacos	64,40	2576,00
Zeolita malla 80	45 sacos	11,76	529,20
<b>SUBTOTAL:</b>			3315,20
<b>TRANSPORTE</b>			
	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Transporte de material HA.	1	300,00	300,00
Transporte de materiales filtrantes	1	150,00	150,00
<b>SUBTOTAL:</b>			450,00
<b>MANO DE OBRA</b>			
	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Trabajador de campo	2 meses	519,62	1039,24
Trabajador de campo	1 mes	519,62	519,62
Trabajador de campo	1 mes	519,62	519,62
Honorarios Tec. José Morillo	1	1700,00	1700,00
<b>SUBTOTAL:</b>			3778,48
<b>TOTAL:</b>			13523,00

**Elaborado:** Autora.

El cuadro 6.2 indica los valores de los materiales utilizados en el muestreo para análisis de laboratorio, los equipos utilizados para el control de parámetros IN-SITU y costo de los análisis de cada parámetro.

**Cuadro 6.2.** Costos de muestreo y análisis de laboratorio para evaluar el funcionamiento del Humedal Artificial.

<b>MATERIALES DE MUESTREO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Frascos de vidrio Ámbar (1 litro)	16	1,00	16,00
Frascos de vidrio Ámbar (500 ml)	16	0,50	8,00
Frascos de plástico (250 ml)	16	0,30	4,80
Marcador permanente	2	1,00	2,00
Hielera	1	49,00	49,00
Hielo Coleman	5	5,00	25,00
Transporte de muestras	6	6,50	39,00
<b>SUBTOTAL:</b>			143,80
<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
pH metro	1	82,77	82,77
Medidor de conductividad eléctrica	1	90,72	90,72
COMBO (Medidor de T, CE, pH)	1	245,28	245,28
Bandas de pH	1	10,07	10,07
<b>SUBTOTAL:</b>			428,84
<b>ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Potencial Hidrogeno	10	2,80	28,00
Conductividad eléctrica	10	2,80	28,00
Hidrocarburos totales	10	33,60	336,00
Demanda química de oxígeno	10	7,56	75,60
Sólidos totales	10	4,48	44,80
Bario	10	7,56	75,60
Cromo (total)	10	4,48	44,80
Plomo	10	4,48	44,80
Vanadio	10	7,62	76,20
Tratamiento de la muestra	10	7,28	72,80
<b>SUBTOTAL:</b>			826,60
<b>TOTAL:</b>			1399,24

**Elaborado:** Autora.

**Cuadro 6.3.** Detalle de pagos por Honorarios Profesionales a los asesores y jefes de campo del Proyecto de Remediación Ambiental del CTT-FICAYA.

<b>HORARIOS PROFESIONALES DE ASESORES Y JEFES DE CAMPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Honorarios Dr. Miguel Gualoto (Externo)	1	5000,00	5000,00
Honorarios Ing. Danny Reascos (UTN)	1	1500,00	1500,00
Honorarios Ing. Marco Ochoa (UTN)	2	1500,00	3000,00
Honorarios Ing. Lenin Flores (UTN)	2	1500,00	3000,00
Honorarios Ing. Andrés Chiriboga (UTN)	1	1000,00	1000,00
Honorarios Biol. Galo Pabón (UTN)	1	1000,00	1000,00
<b>TOTAL:</b>			14500,00

**Elaborado:** Autora.

Los costos anteriormente detallados, se encuentran en referencia a la época de desarrollo de la investigación, es decir al período de septiembre 2009 a abril 2010.

El cuadro 6.4 hace referencia a los costos directos de la puesta en marcha de un Humedal Artificial para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos; los costos están clasificados de acuerdo al tipo de material, equipos, análisis de laboratorio, sueldos y transporte.

**Cuadro 6.4.** Costo Total del sistema de tratamiento de aguas Humedal Artificial.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	5793,32
MATERIALES FILTRANTES	3315,20
MATERIALES DE MUESTREO	104,80
EQUIPOS	614,84
SUELDOS Y HORARIOS	18278,48
ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA	826,60
TRANSPORTE	489,00
<b>TOTAL:</b>	29422,24

**Elaborado:** Autora.

Los costos indirectos son aquellos que se incrementan por motivos de fiscalización de las obras e imprevistos. El valor del costo indirecto es el 20% adicional al costo directo de la implementación del HA.

La puesta en marcha de un Humedal Artificial construido es relativamente barata en relación otros tipos de tratamientos de aguas contaminadas. En esta investigación el costo se incrementa debido a lo siguiente:

- Se disponía de pocos trabajadores de campo los cuales eran repartidos en todas la investigaciones del proyecto global, esto ocasionó que la ejecución se desarrolle de manera lenta, incrementando el tiempo de trabajo del personal de campo y por tanto el incremento de los valores por razón de sueldos.
- Implantar el sistema en el lecho del estero, en contraposición a ponerlo en un terreno seco, alargó totalmente el tiempo de construcción.
- No se utilizo maquinaria pesada ya que se buscaba causar el menor impacto ambiental, lo que incremento el tiempo de ejecución del sistema.
- Como la investigación se desarrollaba en la Amazonía, el costo por asesoría de los profesionales y sueldos de jefes de campo eran elevados.

Si se modifican estos puntos, se podría reducir el costo del sistema sin alterar su eficiencia.

#### **6.1.1. Costo del metro cúbico (m<sup>3</sup>) de agua tratada.**

Para realizar este cálculo se tomó en cuenta el costo de la implementación del sistema de tratamiento Humedal Artificial correspondiente a la presente tesis, valor que consta en el cuadro 6.1.

Se asumió que el sistema estará en funcionamiento durante 1 año, 24 días al mes y se tratará 23m<sup>3</sup> al día; de acuerdo a estas referencias se tiene que:

**Cantidad de agua tratada al día = 23 m<sup>3</sup>**

**Cantidad de agua tratada al mes = 552 m<sup>3</sup>**

**Cantidad de agua tratada al año = 6624 m<sup>3</sup>**

---

---

## **6.2. BENEFICIOS**

Los resultados positivos del sistema de tratamiento de aguas a través del Humedal Artificial y su implementación a gran escala en amplias zonas contaminadas del Distrito Amazónico, presenta grandes beneficios de carácter económico, ambiental, social y ecológico.

En lo económico, la posibilidad de disponer de agua de buena calidad, incrementará el valor de las tierras, debido a que estas podrán ser incorporadas a actividades agrícolas, productivas y recreacionales.

Ambientalmente, permitirá la recuperación y el restablecimiento del equilibrio natural entre el medio biótico y abiótico.

En lo social, permite a los colonos y propietarios de las zonas afectadas disponer de agua de buena calidad y una fuente de trabajo digno ya que se

ejecutarán las iniciativas de desarrollo comunitario implementadas con motivo de la investigación.

En lo ecológico, la zona remediada podrá recuperar paulatinamente sus especies nativas, a través de amplios programas de conservación apoyadas por el PRAS y la Universidad Técnica del Norte.

No se puede hablar de beneficios de carácter monetario, por cuanto este trabajo fue ejecutado por una Universidad en calidad de investigación, dirigida a generar estándares de calidad, protocolos y metodologías de remediación inexistentes en los cuerpos legales del país.

## 7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

- Se pudo cumplir a cabalidad el objetivo principal de la investigación, por cuanto el sistema está en pleno funcionamiento en la zona de estudio, además se lograron reducir los contaminantes del agua procedente del lavado de suelos del pantano, afectado por el derrame de la línea de flujo Shushuqui 13. Los valores de ST disminuyeron hasta 91 mg/l; los del DQO hasta 8 mg/l y los TPHs hasta 0.15 mg/l.
- El humedal artificial construido cumplió con los parámetros necesarios para lograr un tratamiento eficiente de 23m<sup>3</sup>/día de agua, con un tiempo de retención hidráulico de 8 horas y disminuir ST, DQO y TPHs.
- Se emplearon tres especies de plantas acuáticas, *Panicum máximum*, *Limnocharis flava* y *Eleocharis elegans*, las dos primeras son especies introducidas y la última es nativa de la región. Estas plantas fueron identificadas, elegidas e implantadas en el humedal artificial, según su capacidad de biorremediación, además se obtuvieron en zonas aledañas al lugar de investigación, procurando no introducir especies exógenas; a pesar de que en la zona de estudio existía gran diversidad de plantas propias de humedales naturales, se dio prioridad a las especies vegetales que según la literatura existente tenían antecedentes en tratamiento de aguas contaminadas y han sido probadas en varios estudios similares.
- El crecimiento de las plantas empleadas en el humedal, inicialmente fue lento debido al estrés por el trasplante y la falta de nutrientes del sustrato. Posteriormente con la adición de un abono foliar (*Humato 7*

*plus*), se consiguió un crecimiento acelerado de sus raíces y hojas, factor que en el futuro incidirá positivamente en la eficiencia del sistema y la calidad de las aguas tratadas.

- En la octava celda del humedal artificial se utilizaron dos tamices moleculares, zeolita granulada malla 80 y carbón activado granulado, los cuales no pudieron cumplir con sus propiedades adsorbentes debido a que el agua no presentaba cantidades importantes de metales pesados.
- Los análisis de laboratorio permitieron afirmar que los humedales artificiales son sistemas de tratamiento eficientes, cuyos tiempos de retención dependen de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminante y de las condiciones ambientales de la zona de estudio.
- Los valores de temperatura, conductividad eléctrica y pH, fueron ideales para garantizar el buen progreso del tratamiento.
- El sistema muestra una eficiencia mayor al 90% en la remoción de sólidos totales.
- Por tratarse de aguas con bajos niveles de contaminación, los parámetros como el DQO iniciales no fueron altos, sin embargo el sistema redujo sustancialmente este parámetro con una eficiencia de hasta el 96%.
- Los resultados de laboratorio de las muestras recogidas a la salida del Humedal Artificial, muestran que todos los parámetros analizados cumplen con los límites permisibles de la tabla 4-a del anexo 1 del RAHO 1215, por lo tanto el agua tratada se puede descargar directamente hacia el estero.

- Los parámetros cinéticos fueron establecidos, en cuanto a la tasa de degradación de TPHs y el tiempo de degradación, cuyos valores fueron: 0.34 y 0.54 día, respectivamente.
- Pese a las dificultades operativas como la disponibilidad de espacio, prohibición de uso de maquinarias y el conflicto social con la comunidad; la construcción del Humedal Artificial se ejecutó respetando al máximo el entorno, procurando causar el menor impacto ambiental posible.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- El sistema debe ser probado con distintos tipos de aguas contaminadas procedentes de diferentes actividades productivas, anexas a las hidrocarburíferas, que podrían contener metales pesados en cantidades importantes.
- Se debería ampliar la base investigativa a otros tamices moleculares, entre los que se puede sugerir a la bentonita, puzolanas, margas, arcillas, gel de sílice, y así evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes.
- Se sugiere correr pruebas individuales de retención o eliminación de contaminantes, con cada una de las especies vegetales empleadas en la investigación, para identificar la especie de mayor rendimiento y capacidad de remoción.
- Se recomienda realizar ensayos orientados a ampliar la base de datos referentes a la variedad de especies de plantas nativas existentes en la Amazonia, para verificar su idoneidad en cuanto a la capacidad de

asimilar, degradar o acumular contaminantes y prever su uso potencial en trabajos de biorremediación.

- Para optimizar el tiempo y fuera de zonas de sensibilidad ecológica, se debe emplear maquinaria, que permita acelerar los trabajos de construcción y con ello reducir los costos de ejecución de sistemas semejantes.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR) (2010): Hidrocarburos totales de petróleo (Total Petroleum Hydrocarbons). URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es>. Descargado 12/05/2010.
- ACCIÓN ECOLÓGICA y OILWATCH (2009): TOXITOUR, Recorrido por el campo libertador en la provincia de Sucumbíos en Ecuador URL: <http://www.oilwatch.org>. Descargado 15/04/2009.
- Apuntes Fisiología Farmacéutica (2005): Fenómenos interfaciales. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Biblioteca digital de la Universidad de Chile
- Atkins, P.W. (1998): Physical Chemistry, Oxford University Press, 6th ed., Estados Unidos.
- Calero, S. (2003). SEPARACIÓN DE CONTAMINANTES UTILIZANDO TAMICES MOLECULARES. Dpto. de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla, España.
- Centro de Tecnologías Ambientales (CETA), Universidad Técnica del Norte. (2008): PROPUESTA DE REMEDIACIÓN INTEGRAL DEL ÁREA AFECTADA POR EL DERRAME EN LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13. Ibarra, Ecuador..
- Cermeño, J. (1997): Biorremediación con el producto Eoicasorb en un suelo de sabana afectado por derrame de petróleo. In Resúmenes del IV Congreso Interamericano sobre el medio ambiente. Universidad Simón Bolívar, Caracas. Venezuela.
- Crow, G. E. (2003): Limnocharitaceae. URL: [http://www.inbio.ac.cr/papers/manual\\_plantas](http://www.inbio.ac.cr/papers/manual_plantas). Descargado 30/02/2010.
- De La Casa, Miguel A. (2001): Fibras de carbón y carbones activados: caracterización y aplicaciones en separación y almacenamiento de gases. URL: <http://www.lluisvives.com/servlet/SirveObras>. Descargado: 3/05/2010.
- Decreto Ejecutivo No. 188. CÓDIGO DE LA SALUD, Ecuador, 2 de febrero de 1971.

- Decreto Ejecutivo No. 2824. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Libro VI. Anexo 1: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Ecuador, 22 de julio del 2002.
- Decreto No. 1215. Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOH). Instructivo para la Calificación y Registro de Consultores Ambientales Hidrocarburíferos. Ecuador, 13 de Febrero de 2001. 55p.
- DESOTEC ACTIVATED CARBON. (2010): El carbón activo para líquidos y agua. URL: [http://www.desotec.com/ES/carbon\\_activo](http://www.desotec.com/ES/carbon_activo). Descargado 03/05/10
- ECOLOGIC maintenances. (2008): ¿Qué es zeolita? URL: [www.emmexico.com](http://www.emmexico.com) [Descargado 03/05/2010]
- Environmental Protection Agency (EPA) (2001). A Citizen's Guide to Phytoremediation.
- Ernst, W. H. O. (2000): Evolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation. *New Phytol.*
- Estrucplan On Line (2010): LOS HUMEDALES URL: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones>. Descargado 06/04/2010]
- Eweis, J., Ergas, S., Chang, D. y Schroeder, E. (1999): PRINCIPIOS DE BIORRECUPERACIÓN (Biorrecuperation) Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos. Madrid, McGraw Hill. Madrid, España.
- GALÁN, Patricia G. (2010): CONTAMINACIÓN PETROLERA URL: <http://www.ambiente-ecologico.com>. Descargado 06/04/ 2010.
- GARCIA, Carolina. RESPONSABILIDAD POR CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS URL: [www.prodiversitas.bioetica.org/des13](http://www.prodiversitas.bioetica.org/des13). Descargado 16/04/2010.
- Hanan, Ana y Mondragón, Juana. Cyperaceae: *Eleocharis elegans* (Kunth) Roemer & J. A. Schultes. URL: [www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cyperaceae/eleocharis-elegans](http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cyperaceae/eleocharis-elegans) Descargado 30/04/ 2010.

- Hanan, Ana; Mondragón, Juana y Vibrans, Heike. Poaceae: *Panicum maximum* Jacq. URL: [www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/panicum-maximum](http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/panicum-maximum) Descargado 13/04/2010.
- HANNA INSTRUMENTS. PARÁMETROS DE MEDICIÓN PARA EL ESTUDIO DEL AGUA. URL: [www.catlab.com.ar/notas](http://www.catlab.com.ar/notas). Descargado 09/05/2010.
- Hernández, Valencia, I. y D. Mager. (2003): Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano. *BIOAGRO* 15 (3): 149-155.
- Instituto Argentino Del Petróleo. (1991): GUÍA DE RECOMENDACIONES PARA PROTEGER EL MEDIO AMBIENTE DURANTE EL DESARROLLO DE LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS. Buenos Aires, Argentina.
- Instituto de Biología. (2008): "*Limnocharis flava* (L.) Buchenau, 1869 - IBUNAM: MEXU: PA723939". UNIBIO: Colecciones Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico.
- Kiely, Gerard. (1999): INGENIERÍA AMBIENTAL. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw Hill. Madrid, España.
- Lahora, Agustín. (2003): DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES: LA EDAR DE LOS GALLARDOS. Almería, España.
- Lara Borrero y Jaime Andrés. (1999): Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Tesis (Máster en Ingeniería y Gestión ambiental). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España
- León, Mónica y Lucero, Ana. (2009): ESTUDIO DE *Eichhornia crassipes*, *Lemma gibba* y *Azolla filiculoides* EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN SISTEMAS COMUNITARIOS Y UNIFAMILIARES DEL CANTÓN COTACACHI. Tesis (Ingeniería en Recursos Naturales Renovables). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- LEY No. 374. LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. Ecuador, julio de 1999.

- Martín, Francisco. (2000): DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS: TÉCNICAS BIOLÓGICAS. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España.
- MÉNDEZ, Natera J.; ROQUE, Celymar; ZAPATA, Kharym; OTAHOLA, Gómez A. (1995): EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE CONTAMINACIÓN DE UN SUELO POR PETRÓLEO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ (ZEA MAYS L.). Venezuela.
- MÉNDEZ, Natera, J. R.; MUJICA, Blanco C. F. y PINO, Morales F. B. (2003): Efecto de la contaminación con petróleo sobre la germinación de las semillas de maíz (Zea mays L.) en dos suelos del estado Monagas. Programa y Libro de Resúmenes del V Congreso Venezolano de Ecología del 03 al 07 de noviembre de 2003. Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta. P. 118. 2003.
- Menéndez, Ángel. (2010): Tamices moleculares de carbón. URL: [www.oviedocorreo.es/personales/carbon/cactivo/tamicesmoleculares](http://www.oviedocorreo.es/personales/carbon/cactivo/tamicesmoleculares). Descargado 03/05/2010.
- Mentaberry, Alejandro. (2009): FITORREMEDIACIÓN. [Díapositivas] Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- PAYERAS, Antoni. (2010): Parámetros de Calidad de las Aguas. URL: [www.bonsaimenorca.com](http://www.bonsaimenorca.com) Descargado 09/05/2010.
- Quiñones, Aguilar, E., Ferrera, Cerrato R., Gavi, Reyes F., Fernández, Linares L., Rodríguez, Vásquez R. y Alarcón, A. (2003): Emergencia y crecimiento de maíz en un suelo contaminado con petróleo crudo. *Agrociencia* 37: 585-594.
- RAMSAR CONVENTION (1971). Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional. Ramsar Convention Bureau Ramsar.
- Romero, Mariana, Colín, Arturo, Sánchez, Enrique y Ortiz, Ma. Laura. (2009): TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA. Cuernavaca, Morelos, México. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 160h.

- Seoánez, Mariano. (1999): AGUAS RESIDUALES: TRATAMIENTO POR HUMEDALES ARTIFICIALES. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Sierra, Villagrana R. (2006): FITORREMEDIACIÓN DE UN SUELO CONTAMINADO CON PLOMO POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL. Tesis (Ingeniero agrícola y ambiental). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mexico.
- The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part i. solids.  
Irving Langmuir; J. Am. Chem. Soc. 38, 2221-95 1916
- UNIDAD DEL EQUIPO GESTOR DEL PROYECTO DE REPARACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES Y SOCIALES (UG-PRAS). (2008): Términos de referencia para el/a especialista de campo para el componente de reparación ambiental. URL: [http://www.ambiente.gov.ec/paginas\\_espanol](http://www.ambiente.gov.ec/paginas_espanol). Descargado 10/05/2010.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. (2003): CARACTERIZACIÓN, APLICACIONES Y NORMALIZACIÓN DE LAS ZEOLITAS NATURALES DE ALGUNOS PAÍSES DE IBEROAMÉRICA. URL: <http://www.minas.upm.es/zeolitas/principal>. Descargado 03/05/2010.
- W. J. Weber. (2003): Control de la calidad del Agua/ Water Quality control: Procesos fisicoquímicos. Editorial Reverté. Pág. 210-236. Sevilla, España.

## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO I: Proforma de análisis de laboratorio para muestras de agua.



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**



PROFORMA Nro. 3692					
Fecha de emisión:		Quito, 19 de Mayo del 2010		 ENSAYOS No OAE LEI C 04-005	
Solicitado por:		CTT FICAYA			
Teléfono/fax/E-mail:		2422 543			
Contacto:		ATT:			
Según lo solicitado a continuación sirvase encontrar oferta que presenta la facultad de Ciencias Químicas para análisis físico químico de AGUAS RESIDUALES					
ITEM	DESCRIPCION	METODO	CANTIDAD DE ENSAYOS	V/UNITARIO	V/TOTAL
1	Bario	APHA 3111D	1	6.75	6.75
2	Cromo	APHA 3111B	1	4.00	4.00
3	DQO	APHA 5220C	1	6.75	6.75
4	pH	APHA 4500B	1	2.50	2.50
5	Plomo	APHA 3111B	1	4.00	4.00
6	Solidos totales	APHA 2540B	1	4.00	4.00
7	TPH INFRAROJO	EPA 418.1	1	30.00	30.00
8	Vanadio	APHA 3111B	1	6.80	6.80
9	Conductividad Electrica	APHA 2510B	1	2.50	2.50
10	Tratamiento de la muestra		1	6.50	6.50
			<b>TOTAL</b>		73.80
			<b>SUBTOTAL</b>		73.80
			<b>IVA</b>		8.86
			<b>TOTAL A PAGAR</b>		82.66
<b>LABORATORIO RESPONSABLE:</b> QUIMICA AMBIENTAL					

FORMA DE PAGO: Contado a la entrega de la muestra

VALIDEZ DE LA OFERTA: 8 DÍAS

“Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE”

Muestreo Puntual \$25.00 DENTRO LA CIUDAD y muestreo compuesto \$50.00 (4 horas en adelante)

Tiempo de entrega de resultados: en 15 días laborables a partir de la fecha de entrega de la muestra

En caso de necesitar mayor información de cualquier indole y/o referencias de los métodos utilizados, solicitamos nos indique y gustosamente le proporcionaremos asesoramiento a través de un profesional.

Es importante que una vez aceptada esta proforma si el cliente va a cancelar en cheque este se emita a nombre de FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS. CERTIFICADO

El costo por transporte va por cuenta del cliente o a su vez transportar al técnico a su lugar de destino

Atentamente,

DRA. JENNY MURILLO  
DIRECTORA DE CALIDAD



## 9.2. ANEXO II: Cadena de custodia para el envío de muestras de agua.

### CADENA DE CUSTODIA ANÁLISIS DE AGUAS CTT - FICAYA

**PROYECTO:** TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMBINADO CON FILTRACIÓN EN TAMICES MOLECULARES, DE AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS, POR EL DERRAME DE LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13, CANTÓN LAGO AGRIO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, ECUADOR.

**TESISTA:** Viviana Muñoz Sánchez - UDLA

**Nº Orden de Trabajo del Laboratorio:** \_\_\_\_\_

#### PARÁMETROS A ANALIZAR:

- ✓ Tabla # 4-a: Límites permisibles para el monitoreo ambiental permanente de aguas y descargas líquidas en todas las fases de la industria hidrocarburífera. Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas). RAOH- Decreto 1215.

PARÁMETRO	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial Hidrogeno	pH	-	5.0<pH<9.0
Conductividad eléctrica	CE	µS / cm	<2500
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<20
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	<120
Sólidos totales	ST	mg/l	<1700
Bario	Ba	mg/l	<5
Cromo (total)	Cr	mg/l	<0,5
Plomo	Pb	mg/l	<0,5
Vanadio	V	mg/l	<1



### INFORMACIÓN MUESTRAS

Número	Código	Nombre	Fecha	Hora
1	I 4-MP	Muestra inicial 4 – Metales (Ba, Cr, Pb, V)	25/03/2010	08h00
2	I 4-TPH	Muestra inicial 4 – (TPH, DQO)	25/03/2010	08h00
3	I 4-ST	Muestra inicial 4 – (pH, CE, ST)	25/03/2010	08h00
4	F 4-MP	Muestra final 4 – Metales (Ba, Cr, Pb, V)	25/03/2010	16h00
5	F 4- TPH	Muestra final 4 – (TPH, DQO)	25/03/2010	16h00
6	F 4-ST	Muestra final 4 – (pH, CE, ST)	25/03/2010	16h00

- Muestras para análisis de Metales pesados ( Ba, Cr, Pb, V ) conservadas con Ac. Nítrico.
- Muestras para análisis de TPH y DQO, conservadas con Ac. Sulfúrico.

Fecha de Entrega: 26 03 2010

Fecha de Recepción: 24/03/26

RESPONSABLE: Flavia Sánchez

RESPONSABLE: [Signature]

[Signature]  
FIRMA RESPONSABLE

[Signature]  
FIRMA RESPONSABLE

### 9.3. ANEXO III: Informe de resultados obtenidos de muestras de aguas.



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19225  
ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	I <sub>1</sub> ST
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	POCO TURBIA
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

#### INFORME

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	5.8	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	19.0 (21.5 °C)	APHA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	238	APHA2540 B



“Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE”  
No OAE LE IC 04-002



*DAROLDAR*

Bioq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-1923I  
ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	I, ST
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	POCO TURBIA
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	5.5	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	24 (21.8 °C)	APHA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	318	APHA2540 B



\*Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE 1C 04-002



  
 Bioq. Darwin Roldán Robles  
 JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL.



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19157  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CTT-FCAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	13 ST
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TURBIA
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	5.7	APIA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	18 (20,8 °C)	APIA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	493	APIA2540 B



"Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE 1C 04-002



*Darwin Robles*  
Bióq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19215  
ORDEN DE TRABAJO No026773

SOLICITADO POR:	CTT-FCAYA
DIRECCIÓN:	CIUADDELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	26/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	14 ST
FECHA DE ANALISIS:	26/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TURBIA
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	5.9	APIA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	19.0 (21.5 °C)	APIA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	667	APIA2540 B



\*Los ensayos marcados con ( ° ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE IC 04-002



*Darwin Roldán Robles*  
Blq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19151

ORDEN DE TRABAJO No026795

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	29/03/2010
HORA DE RECEPCION:	11H59
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	15 ST
FECHA DE ANALISIS:	29/03 AL 08/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TURBIA
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	6,8	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	13,4 (20,6 °C)	APHA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	2254	APHA2540 B



\*Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE IC 04-002



*[Firma]*

Btoq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19228  
ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTI-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F, ST
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	6.9	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	232 (21.1 °C)	APHA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	183	APHA2540 B



"Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE IC 04-002



*Darwin Robles*  
Bióg. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL.



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19154  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F2 ST
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	6.8	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	220 (21.2 °C)	APHA2510 B
SOLIDOS TOTALES	mg/l	128	APHA2540 B



\*Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE I.E. IC 04-002



*Darwin Robles*

Bioq. Darwin Roblón Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-19160  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CIT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCIÓN:	25/03/2010
HORA DE RECEPCIÓN:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCIÓN:	F3 ST
FECHA DE ANÁLISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	09/04/2010
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

INFORME

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	6.8	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	230 (21.3 °C)	APHA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	1.33	APHA2540 B



"Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE 1C 04-002



  
Bto. Darwin Roldán Roldán  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19218  
ORDEN DE TRABAJO No026773

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	26/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F4 ST
FECHA DE ANALISIS:	26/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	7.1	APHA4500 H+H
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	230 (21.4 °C)	APHA2510 B
SOLIDOS TOTALES	mg/l	141	APHA2540 H



\*Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE IC 04-002



  
Bióq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL.



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19148  
ORDEN DE TRABAJO No026795

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	29/03/2010
HORA DE RECEPCION:	11H59
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F5 ST
FECHA DE ANALISIS:	29/03 AL 08/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
pH	--	6.5	APHA4500 H+B
CONDUCTIVIDAD	µg/l	134 (20.2 °C)	APHA2510 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	91	APHA2540 B



\*Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*

No OAE LE IC 04-002



Bioq. Darwin Roldán Robles  
 JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19223  
ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	1 MP
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS, ESTADO:	POCO TURBIA LIQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



"Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE IC 04-002



*[Firma]*  
BIOQ. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUIMICA AMBIENTAL

RAM-4.1-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral  
Web: www.facquimuce.edu.ec

Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext.15,18, 21, 33, 31  
e-mail: laboratoriososp@hotmail.com  
Telefax: 3216-740



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19229  
ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	LMP
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	13/04/2010 POCO TURBIA
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



“Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE”  
No OAE LE 1C 04-002



  
**Bosq. Darwin Roldán Roldes**  
**JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL**



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19155  
ORDEN DE TRABAJO N°026762

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	I3 MP
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS. ESTADO:	TURBIA LIQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



\*Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE IC 04-002



  
 Bioq. Darwin Roldán Robles  
**JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL.**



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19213  
ORDEN DE TRABAJO No026773

SOLICITADO POR:	CTT-FCAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	26/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	14MP
FECHA DE ANALISIS:	26/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TURBIA
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

#### INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



"Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE 1C 04-002



*Darwin Roldán Robles*  
BIOQ. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL

1

RAM-41-04



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL.  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19149  
ORDEN DE TRABAJO No026795

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	29/03/2010
HORA DE RECEPCION:	11H59
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	15 MP
FECHA DE ANALISIS:	29/03 AL 08/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TURBIA
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<.83	APHA3111 B



\*Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE 1C 04-002



Bioq. Darwin Roldán Robles  
**JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL**



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19226  
ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F, MP
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



\*Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE 1C 04-002



*Darwin Roldán Robles*

Blaq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19152  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUADADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F2 MP
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



“Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE”  
No OAE LE 1C 04-002



*Darwin Robles*  
BIOQ. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19158  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F3 MP
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



\*Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE LE 1C 04-002



*[Signature]*

BIOQ. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
 UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
 LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
 INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-19216  
 ORDEN DE TRABAJO No026773

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	26/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F4 MP
FECHA DE ANALISIS:	26/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

#### INFORME

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



\*Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
 No OAE LE IC 04-002



  
 Bto. Darwin Roldán Robles  
 JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL.

RAM-L-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral  
 Web: www.facquimuce.edu.ec

Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 33, 31    Telefax: 3216-740  
 e-mail: laboratoriososp@hotmail.com



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL.  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19146  
ORDEN DE TRABAJO No026795

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	29/03/2010
HORA DE RECEPCION:	11H59
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F5 MP
FECHA DE ANALISIS:	29/03 AL 08/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	500 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
BARIO	mg/l	<0.18	APHA3111 D
CROMO	mg/l	<0.04	APHA3111 B
PLOMO	mg/l	<0.09	APHA3111 B
VANADIO	mg/l	<0.83	APHA3111 B



\*Las ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
No OAE I.E. IC 04-002



*(Signature)*

Btoq. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19147

ORDEN DE TRABAJO No026795

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	29/03/2010
HORA DE RECEPCION:	11H59
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F5 TPH
FECHA DE ANALISIS:	29/03 AL 08/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	1 LITRO
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
TPH INFRARROJO	mg/l	0.59	EPA418.1
DQO	mg/l	24	APHA5220 C



"Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE IC 04-002



**Bing. Darwin Roldán Robles**  
**JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL**



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
 UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
 LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
 INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-19227  
 ORDEN DE TRABAJO No026737

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCION:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	24/03/2010
HORA DE RECEPCION:	10H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F, TPH
FECHA DE ANALISIS:	24/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	1 LITRO
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

### INFORME

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
TPH INFRARROJO	mg/l	<0.15	EPA418.1
DQO	mg/l	<8	APHA5220 C



\*Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE\*  
 No OAE LE IC 04-002



*Darwin Robles*  
 Btoq. Darwin Robles Robles  
 JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19153  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CTI-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F2 TPH
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	1 LITRO
MUESTREO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
TPH INFRARROJO	mg/l	<0.15	EPA418.1
DQO	mg/l	8	APIA5220 C



"Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE 1C 04-002



*Darwin Robles*  
BIOQ. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19159  
ORDEN DE TRABAJO No026762

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	25/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H02
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCIÓN:	F3 TPH
FECHA DE ANALISIS:	25/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	TRANSPARENTE
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	1 LITRO
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
TPH INFRARROJO	mg/l	<0,15	EPA418.1
DQO	mg/l	11	APHA5220 C



“Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE”  
No OAE LE 1C 04-002



  
BIOQ. Darwin Roldán Robles  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL.



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB-QAM-19217  
ORDEN DE TRABAJO No026773

SOLICITADO POR:	CTT-FICAYA
DIRECCIÓN:	CIUDADELA EL OLIVO AV. 18 DE JULIO
FECHA DE RECEPCION:	26/03/2010
HORA DE RECEPCION:	09H09
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	F4 TPH
FECHA DE ANALISIS:	26/03 AL 06/04/2010
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	13/04/2010
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS. ESTADO:	TRANSPARENTE LIQUIDO
CONTENIDO:	1 LITRO
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
TPH INFRARROJO	mg/l	<0,15	EPA418.1
DQO	mg/l	9	APHA5220 C



"Los ensayos marcados con ( \* ) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"  
No OAE LE 1C 04-002



*Darwin Roldán*  
Btoq. Darwin Roldán Roldes  
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL

## 9.4. ANEXO IV: Glosario de Términos

- 9.4.1. **Carcinógenos:** Causantes de cáncer.
- 9.4.2. **Mutágenos:** Causan daño a los genes.
- 9.4.3. **Teratogénicos:** Compuestos que causan anomalías a los embriones en desarrollo.
- 9.4.4. **Napas:** Capa de agua en la superficie de la tierra, o subterránea
- 9.4.5. **Agua de formación:** Asociada con el petróleo existente en los yacimientos y sale a la superficie junto con el gas y el petróleo; contiene metales pesados, altos niveles de sales y fracciones de crudo en emulsión o dilución.
- 9.4.6. **DBO<sub>5</sub>:** Demanda bioquímica de oxígeno
- 9.4.7. **SS:** Sólidos en suspensión.
- 9.4.8. **DQO:** Demanda química de oxígeno.
- 9.4.9. **PCB:** Bifenilos policlorados.
- 9.4.10. **HAP:** Hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- 9.4.11. **Hidrófilas:** Plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos, absorbe el agua con gran facilidad.
- 9.4.12. **UICN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- 9.4.13. **UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- 9.4.14. **Macrófitos:** Plantas que se ven a simple vista.
- 9.4.15. **Micrófitos:** Generalmente microalgas.
- 9.4.16. **FWS.** - *Free Water Surface.*
- 9.4.17. **VSB.** - *Vegetated Submerged Bed.*
- 9.4.18. **SFS.**- Sistema de Flujo Subsuperficial.
- 9.4.19. **PSA:** *Pantanos Secos Artificiales.*
- 9.4.20. **Acaules:** Dicho de una planta cuyo tallo es tan corto que parece que no lo tiene.
- 9.4.21. **Caulescentes:** Dicho de una planta cuyo tallo se distingue fácilmente de la raíz por estar bien desarrollado.
- 9.4.22. **PRAS:** Proyecto de Reparación Ambiental y Social.

- 9.4.23. **CETA:** Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.
- 9.4.24. **DAP:** Diámetro a la Atura de Pecho.
- 9.4.25. **HA:** Humedal Artificial
- 9.4.26. **Granulometría:** Distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, sedimento o material.
- 9.4.27. **Vista de perfil:** Vista que se obtiene cuando el objeto es observado desde uno de sus lados.
- 9.4.28. **Vista de planta:** Vista que se consigue cuando el objeto es observado desde arriba.
- 9.4.29. **OSP:** Oferta de Servicios y Productos.
- 9.4.30. **Avifauna:** Se refiere a las aves.
- 9.4.31. **Mastofauna:** Se refiere a los animales mamíferos.