

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD REMEDIADORA DE LA ESPECIE
EICHHORNIA CRASSIPES DEL RÍO CHIRA PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EL INDIO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
DAVID ANTHONY JESÚS BAYONA SÁNCHEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**ASESOR METODOLÓGICO:
BLGA. CARMEN LUISA ALBURQUEQUE ATOCHE**

**PIURA – PERÚ
2016**

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD REMEDIADORA DE LA ESPECIE
EICHHORNIA CRASSIPES DEL RÍO CHIRA PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EL INDIO”**

LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS
ES ORIGINAL EN SU CONTENIDO Y FORMA

BACHILLER DAVID ANTHONY JESÚS BAYONA SÁNCHEZ

BLGA. CARMEN LUISA ALBURQUEQUE ATOCHE

PAGINA DE FIRMAS

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD REMEDIADORA DE LA ESPECIE
EICHHORNIA CRASSIPES DEL RÍO CHIRA PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EL INDIO”**

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO

DR. ALEX SEGUNDO GARCIA CRISANTO
PRESIDENTE

MG. JONY MARTIN ARTEAGA CRISANTO
MIEMBRO / SECRETARIO

MG. THOMAS ANTONIO VASQUEZ MONTENEGRO
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres David y Miriam.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis familiares.

A mis hermanos Dante y Diego por todas las vivencias y el apoyo que me brindaron; a mi tía Alicia, a mi tío Cesar, a mi tío Hugo y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

A mi asesora.

Blga. Carmen Luisa Alburqueque Atoche por su gran apoyo y motivación para la elaboración de esta tesis.

Finalmente a los maestros y amigos, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres David y Miriam por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser unos excelentes ejemplos de vida a seguir.

A mi segunda madre, mi tía Alicia, a mis hermanos Dante y Diego y a todos mis tíos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

Agradecimiento especial a mi tutora de tesis Blga. Carmen Alburqueque por su paciencia y constante asesoramiento y colaboración.

A la Universidad Alas Peruanas y a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura , Carrera de Ingeniería Ambiental por la formación académica.

A la empresa prestadora de servicios de saneamiento EPS Grau s.a., en especial a la Ing. Cecilia Oliva por que con su soporte técnico y humano ha contribuido en la ejecución del presente trabajo de investigación. Gracias por la ayuda y confianza en mi depositada.

RESUMEN EJECUTIVO

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Indio, se localiza en la zona sur-este de la ciudad de Piura, cercano al asentamiento humano El Indio, distrito de Castilla y es administrada por la empresa prestadora de servicios de saneamiento EPS Grau s.a. para la recepción y tratamiento de las aguas residuales de uso doméstico. Estas aguas circulan por un sistema de tratamiento de lagunas facultativas para luego ser descargadas a una canaleta para su uso de riego. Las descargas no cumplen con las características físico-químicas y microbiológicas establecidas en la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (D.S. N° 003-2010-MINAM) por lo que están contribuyendo a la contaminación ambiental.

El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad remediadora de la especie *Eichhornia crassipes* del río Chira para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR El Indio y de esta manera investigar alternativas de tratamiento para reducir los contaminantes presentes en las descargas evitando así el impacto ambiental ocasionado.

Se realizó una evaluación preliminar de los especímenes de *Eichhornia crassipes* en un ambiente controlado para determinar la resistencia a las concentraciones contaminantes presentes en las aguas residuales de las lagunas facultativas.

Para conocer las características iniciales de la PTAR El Indio se desarrollo un estudio de linea base del sistema de tratamiento empleado, en esta evaluación se efectuaron los análisis de: temperatura, pH, aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos totales en suspensión, conductividad, carbonatos, fosfatos, nitratos y coliformes termotolerantes. Los resultados de los análisis se contrastaron con los límites

máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente determinándose así la contaminación ambiental producida por las descargas.

La evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación utilizando la especie *Eichhornia crassipes* se efectuó en los meses de agosto y septiembre con un plan de seguimiento y control el cual consistió en inspecciones de campo cada dos semanas. Finalizada la fase de evaluación se realizó el muestreo del afluente y la descarga de la PTAR El Indio con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de contaminantes presentes.

Al examinar los resultados obtenidos en la investigación se pudo evidenciar la disminución de la concentración de los contaminantes siendo la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno los parámetros que mas elevaron la eficiencia de remoción, por otra parte se observó una disminución en la remoción de sólidos suspendidos totales.

Al término de este estudio se pudo concluir que habiéndose implementado el sistema de tratamiento por fitorremediación se comprobó la capacidad depuradora de la especie *Eichhornia crassipes* para la reducción de las concentraciones contaminantes presentes en las aguas residuales de la PTAR El Indio. Sin embargo se recomienda realizar trabajos de investigación para determinar la capacidad fitorremediadora de esta especie en periodos mas prolongados a los considerados en el presente estudio y bajo otras condiciones ambientales

ABSTRACT

Wastewater treatment plant (WWTP) El Indio, is located in the south-east of the city of Piura, near the slums El Indio district of Castilla and is owned by the company providing sanitation EPS Grau s.a. for the reception and treatment of waste water for domestic use. These waters flow through a treatment system facultative lagoons then be downloaded to a channel for use in irrigation. Discharges do not comply with the physico-chemical and microbiological characteristics laid down in the standard of maximum permissible limits for effluent treatment plants (DS No. 003-2010-MINAM) domestic or municipal wastewater so that they are contributing to environmental pollution.

This study's main objective was to evaluate the remedial capacity of the species *Eichhornia crassipes* the Chira River for wastewater treatment in the WWTP El Indio and thus investigate alternative treatment to reduce pollutants in discharges thus avoiding the impact environmental occasioned.

A preliminary assessment of *Eichhornia crassipes* specimens was performed in a controlled environment to determine the resistance to pollutant concentrations in wastewater facultative lagoons environment.

For the initial characteristics of the WWTP Injun developed a baseline study of the processing system used in the evaluation tests were carried out: temperature, pH, oil and grease, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total suspended solids, conductivity, carbonates, phosphates, nitrates and thermotolerant coliforms. The test results were compared with the limits set by environmental legislation and determined environmental pollution caused by discharges.

The evaluation of phytoremediation treatment system using the species *Eichhornia crassipes* was conducted in August and September with a plan for monitoring and control which consisted of field inspections every two weeks. After the evaluation phase sampling influent and discharge of the WWTP El Indio in order to determine the efficiency of removal of contaminants was performed.

In examining the results of research could highlight the decrease in the concentration of pollutants being the chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand rose more parameters removal efficiency on the other hand a decrease was observed in the total suspended solids removal.

At the end of this study it was concluded that the treatment system for the treatment plant phytoremediation capacity of the species *Eichhornia crassipes* for the reduction of pollutant concentrations in wastewater from the WWTP El Indio was found having been implemented. However it is recommended to conduct research to determine the ability of this species longer than those considered in this study and periods under different environmental conditions.

PAGINAS PRELIMINARES

	Pag.
PORTADA	I
DECLARACION DE ORIGINALIDAD	II
PAGINA DE FIRMAS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN EJECUTIVO	VI
ABSTRACT	VII
INDICE DE CONTENIDO	XI
INDICE DE ABREVIATURAS	XIV
INDICE DE CUADROS	XVI
INDICE DE FIGURAS	XVIII

INDICE DE CONTENIDO

	Pag.
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática	2
1.1.2. Problema Principal	4
1.1.3. Problemas Específicos	4
1.2. Alcance de la Investigación	4
1.3. Hipótesis y Variables	5
1.3.1. Hipótesis Principal	5
1.3.2. Hipótesis Específicas	5
1.4. Objetivos de la Investigación	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación	6
1.5.1. Justificación de la Investigación	6
1.5.2. Importancia de la Investigación	7
1.5.3. Limitaciones de la Investigación	7
CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES	
2.1. Ubicación Geográfica	8
2.2. Características del Medio Físico	9
2.2.1. Clima	9
2.2.2. Hidrología	12
2.2.3. Hidrogeología	13
2.2.4. Geología	16
2.3. Características del Medio Biológico	17
2.3.1. Zona de Vida	17

2.3.2. Flora	17
2.3.3. Fauna	19
2.4. Características del Medio Socioeconómico y Cultural	20
2.4.1. Población	20
2.4.2. Indicadores Socioeconómicos	23
2.4.3. Indicadores Sociales	24
2.4.4. Indicadores Demográficos	25
2.4.5. Educación	25
2.4.6. Salud	28
2.4.7. Cobertura de Servicios	29
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	
3.1. Aguas Residuales	34
3.1.1. Definición	34
3.1.2. Características de las Aguas Residuales	35
3.1.3. Influencia en el Medio Receptor	37
3.1.4. Análisis mas Frecuentes para Aguas Residuales	38
3.1.5. Tratamiento de las Aguas Residuales	48
3.2. Fitorremediación Acuática	56
3.2.1. Definición	56
3.2.2. Ventajas y Limitaciones	57
3.2.3. Sistemas de Fitorremediación Acuática	58
3.2.4. Tipos de Plantas Acuáticas	59
3.2.5. Criterios de Selección de Plantas para la Fitorremediación	61
3.2.6. Funciones de las Plantas para la Fitorremediación Acuática	61
3.3. Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	62
3.3.1. Taxonomía	62
3.3.2. Descripción	63
3.3.3. Composición Química	65
3.3.4. Hábitat	65

3.3.5. Origen y Distribución Geográfica	66
3.3.6. Reproducción	66
3.3.7. Parámetros de Crecimiento	66
3.3.8. Importancia	67
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN PRELIMINAR Y ADECUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
4.1. Evaluación de Resistencia de la Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	68
4.2. Estudio de Línea Base de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	72
4.2.1. Ubicación Geográfica	73
4.2.2. Descripción del Sistema de Tratamiento	74
4.2.3. Situación Actual del Sistema de Tratamiento	76
4.2.4. Análisis Físico - Químicos y Microbiológicos	79
4.3. Limpieza de Lagunas Facultativas Secundarias	82
4.4. Instalación de Mallas de Contención	84
4.5. Recolección y Transporte de Especímenes	85
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POR FITORREMEDIACIÓN	
5.1. Evaluación del Crecimiento y Reproducción de Especímenes	90
5.2. Análisis e Interpretación de Resultados	94
5.2.1. Análisis de Resultados	94
5.2.2. Eficiencia de Remoción del Sistema de Tratamiento por Fitorremediación	101
5.2.3. Balance Hídrico	102
5.2.4. Interpretación de Resultados	105
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE ABREVIATURAS

PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
MINAM	Ministerio del Ambiente
MVCS	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento
MINAG	Ministerio de Agricultura
INDECOPI	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual
EPS	Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento
DS	Decreto Supremo
LMP	Límite Máximo Permisible
EDA	Enfermedad Diarreica Aguda
NMP	Número mas Probable
UTM	Universal Transverse Mercator (Universal Transversal de Mercator)
DH	Deutsche Härte (Grado Alemán)
MMC	Millones de Metros Cúbicos
pH	Potencial Hidrógeno
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
N	Norte
E	Este
S	South (Sur)
W	West (Oeste)
Al₂(SO₄)₃	Sulfato de Aluminio
Na₂CO₃	Carbonato de Sodio

CaCl₂	Cloruro de Calcio
CO₂	Dióxido de Carbono
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
°C	Grados Centígrados
hab	Habitantes
h	Horas
L	Litros
mL	Mililitros
mg	Miligramos
Kg	Kilogramos
m	Metros
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Km	Kilómetros
s	Segundos
μ	Micras
μS	Microsiemens

INDICE DE CUADROS

	Pag.
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
Cuadro 1.1. Análisis Físico - Químico y Microbiológico	2
 CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES	
Cuadro 2.1. Resumen de Especies de Flora Registradas en el Área de Estudio	18
Cuadro 2.2. Resumen de Especies de Fauna Registradas en el Área de Estudio	19
Cuadro 2.3. Población Total a Nivel Provincial de Piura	21
Cuadro 2.4. Población a Nivel Distrital por Área Geográfica y Sexo	21
Cuadro 2.5. Composición de la Población por Grupos de Edad y Sexo del Distrito de Castilla	22
Cuadro 2.6. Consolidado de la Población Escolar a Nivel del Distrito de Castilla	26
Cuadro 2.7. Nivel Educativo del Distrito de Castilla	27
Cuadro 2.8. Viviendas Particulares por Tipo de Abastecimiento de Agua Potable del Distrito de Castilla	30
Cuadro 2.9. Viviendas Particulares por Tipo de Servicios Higiénicos del Distrito de Castilla	31
Cuadro 2.10. Viviendas Particulares por Tipo de Servicios de Alumbrado del Distrito de Castilla	32
 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	
Cuadro 3.1. Taxonomía de la Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	63
Cuadro 3.2. Composición de la Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	65

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN PRELIMINAR Y ADECUACIÓN DEL
ÁREA DE ESTUDIO**

Cuadro 4.1. Observaciones Registradas Durante la Fase de Evaluación	71
Cuadro 4.2. Análisis de Línea Base del Afluente	80
Cuadro 4.3. Análisis de Línea Base de las Descargas	82

**CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POR
FITORREMEDIACIÓN**

Cuadro 5.1. Crecimiento Poblacional de la Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	93
Cuadro 5.2. Análisis Finales del Afluente	95
Cuadro 5.3. Análisis Finales de las Descargas	95
Cuadro 5.4. Eficiencias de Remoción de Línea Base	101
Cuadro 5.4. Eficiencias de Remoción del Sistema por Fitorremediación	102

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
Figura 1.1. Distribución Regional de Incidencias de Enfermedades Diarreicas Agudas en Niños Menores de 5 Años	3
Figura 1.2. Sembríos Irrigados con las Descargas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	3
CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES	
Figura 2.1. Vista Panorámica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	8
Figura 2.2. Extensión del Acuífero Confinado Zapallal	15
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	
Figura 3.1. Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales	49
Figura 3.2. Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	64
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN PRELIMINAR Y ADECUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
Figura 4.1. Hábitat de la Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	68
Figura 4.2. Área de Incineración de los Especímenes de <i>Eichhornia crassipes</i>	69
Figura 4.3. Recolección de Especímenes de <i>Eichhornia crassipes</i>	70
Figura 4.4. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	70
Figura 4.5. Evaluación de la Resistencia de la Especie <i>Eichhornia crassipes</i>	72
Figura 4.6. Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	73

Figura 4.7. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	75
Figura 4.8. Vista de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio	76
Figura 4.9. Estructura de de Captación	77
Figura 4.10. Lagunas Facultativas Primarias	77
Figura 4.11. Lagunas Facultativas Secundarias	78
Figura 4.12. Buzón de Descarga y Canal de Descarga	79
Figura 4.13. Monitoreo de Linea Base del Afluente	80
Figura 4.14. Monitoreo de Linea Base de las Descargas	81
Figura 4.15. Campaña de Limpieza	83
Figura 4.16. Reforestación con Plantones de Ficus	83
Figura 4.17. Instalación de Boyas en las Mallas	84
Figura 4.18. Instalación de Mallas de Contención	85
Figura 4.19. Zona de Recolección de Especímenes	86
Figura 4.20. Recolección de Especímenes	87
Figura 4.21. Transporte de Especímenes	87
Figura 4.22. Adición de Especímenes a las Lagunas	89
 CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POR FITORREMEDIACIÓN	
Figura 5.1. Primera Inspección de Campo	90
Figura 5.2. Segunda Inspección de Campo	91
Figura 5.3. Tercera Inspección de Campo	92
Figura 5.4. Cuarta Inspección de Campo	92
Figura 5.5. Monitoreo Final de Afluentes y Descargas	93

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El manejo no adecuado de las aguas residuales es un problema que sigue perdurando en las grandes ciudades en diferentes partes del mundo, siendo los países en vías de desarrollo los que tienen mayor dificultad en el adecuado manejo y tratamiento de estas aguas, debido a que no se cuenta con las capacidades y las tecnologías adecuadas generando una contaminación ambiental al momento de retornar estas aguas tratadas de forma ineficiente al medio natural.

En el Perú este problema viene siendo abordado por diferentes instituciones como lo son los gobiernos tanto el central, los regionales y municipales, así como también existen instituciones privadas cuyo fin es fomentar el correcto uso y mantenimiento de los recursos naturales promoviendo un desarrollo sostenible. La ciudad de Castilla cuenta con la PTAR El Indio, la cual está constituida por cuatro lagunas de oxidación que se encargan de tratar parte de los desagües de dicha ciudad, sin embargo el resultado de este sistema no es el indicado, pues la calidad de las aguas producto del tratamiento no es la adecuada para que sea reutilizada y por consiguiente ésta es liberada al medio natural causando un impacto en el ambiente, además de que los pobladores de las zona donde se encuentran las lagunas de oxidación son afectados de forma negativa ya que están propensos a contraer enfermedades.

La ejecución de esta investigación tuvo como finalidad evaluar la capacidad remediadora de la especie *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) que crece en exceso en el río Chira debido a la eutrofización existente por contaminación para tratar las aguas residuales mediante la ejecución de un plan piloto que se realizó en la PTAR El Indio.

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática

La ciudad de Castilla cuenta con la PTAR El Indio, la cual usa lagunas facultativas para el tratamiento de sus afluentes, sin embargo, la calidad de las aguas producto de este tratamiento no se encuentra dentro de los valores establecidos en la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales según los análisis realizados en la PTAR El Indio en el mes de marzo del año 2015.

Cuadro 1.1. Análisis Físico - Químico y Microbiológico¹

Parámetro	Unidad	Muestras / Resultados		LMP para efluentes de PTAR
		Entrada	Salida	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.1E+08	1.3E+06	1E+04
Aceites y Grasas	mg/L	34	17	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	128	63	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	272	241	200
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	164	77	150
Temperatura	°C	30.9	29.7	< 35
Potencial Hidrógeno		6.6	7.5	6.5 - 8.5

Los moradores que se encuentran en las inmediaciones de la planta de tratamiento peligran ya que estas descargas provocan un riesgo de proliferación de enfermedades especialmente a niños menores de 5 años, debido a que los pobladores por la falta del recurso hídrico utilizan las descargas sin autorización para irrigar sus sembríos, esto ocasiona la propagación de enfermedades diarreicas agudas (EDA), además de

¹ FUENTE: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Grau s.a. (2015). *Informe de análisis de la PTAR El Indio (02/03/15)*.

enfermedades como la hepatitis, el cólera, el parasitismo y otras gastrointestinales tanto para los moradores aledaños a la planta de tratamiento como para los habitantes de la ciudad de Castilla debido a que los productos irrigados con estas aguas son vendidos en los mercados locales, la incidencia de casos de enfermedades diarreicas agudas en el distrito se situaba entre las más altas en toda la región.

Figura 1.1. Distribución Regional de Incidencias de Enfermedades Diarreicas Agudas en Niños Menores de 5 Años²

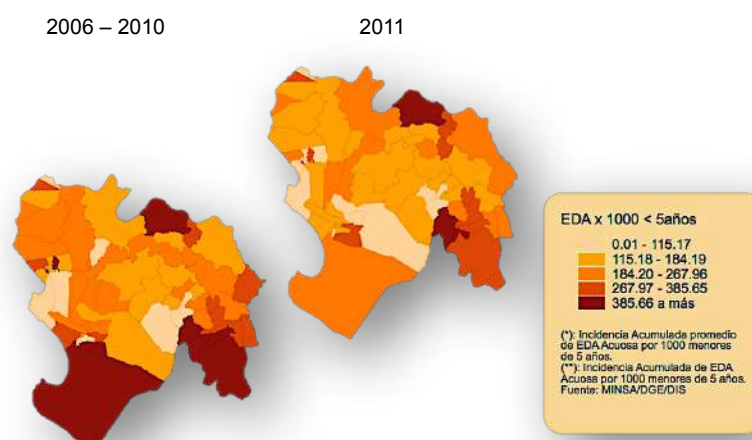


Figura 1.2. Sembríos Irrigados con las Descargas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio



² FUENTE: Gobierno Regional de Piura. (2011). *Análisis de la Situación de Salud de Piura*. Recuperado de: http://www.dge.gob.pe/portal/Asis/indreg/asis_piura.pdf

1.1.2. Problema Principal

Las descargas de la PTAR El Indio exceden los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ambiental ocasionando impactos negativos en el medio natural.

1.1.3. Problemas Específicos

- No se han realizado análisis de los parámetros necesarios de los afluentes y descargas para la implementación del sistema de fitorremediación en la PTAR El Indio.
- Las lagunas secundarias de la PTAR El Indio no se encuentran diseñadas para la instalación del sistema de tratamiento por fitorremediación.
- No se cuenta con información sobre la efectividad de la especie *Eichhornia crassipes* del río Chira para reducir las concentraciones contaminantes presentes en las aguas residuales.

1.2. Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación es evaluar y dar a conocer una alternativa económica y novedosa en la región para el tratamiento de las aguas residuales con el fin de reducir la concentración de contaminantes presentes en las descargas de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la región cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en la legislación nacional, con la consecuente mejora de la calidad ambiental de la región.

1.3. Hipótesis y Variables

1.3.1. Hipótesis Principal o Central

La calidad de las descargas de la PTAR El Indio aumentará al emplear un sistema de tratamiento por fitorremediación utilizando la especie *Eichhornia crassipes*.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- Deben adicionarse parámetros a los análisis realizados a la PTAR El Indio para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento por fitorremediación a implementar.
- Las lagunas secundarias de la PTAR El Indio deben adaptarse para la ejecución del plan piloto con el sistema de tratamiento por fitorremediación.
- A mayor efectividad de la especie *Eichhornia crassipes* para reducir las concentraciones contaminantes, mayor será la calidad de las descargas de la PTAR El Indio.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad remediadora de la especie *Eichhornia crassipes* del río Chira para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR El Indio de la ciudad de Castilla.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar análisis de línea base de los afluentes y descargas de la PTAR El Indio con los parámetros necesarios para la implementación del sistema de tratamiento por fitorremediación.
- Adaptar las lagunas secundarias de la PTAR El Indio para la implementación del plan piloto con el sistema de tratamiento por fitorremediación.
- Determinar la efectividad de la especie *Eichhornia crassipes* del río Chira para reducir las concentraciones contaminantes presentes en las descargas de la PTAR el Indio.

1.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación

1.5.1. Justificación de la Investigación

La contaminación ambiental es uno de los problemas mas preocupantes actualmente debido a las consecuencias perjudiciales que provoca a la calidad de vida, siendo una de las causas mas relevantes la contaminación del agua tanto en la superficial como subterránea.

En la región de Piura este problema es uno de los mas críticos, pues la degradación de los cuerpos acuíferos son ocasionados principalmente por el inadecuado manejo, tratamiento y disposición de las aguas residuales de las ciudades, además de que el acceso al agua, especialmente para el sector agrícola, es problemática en esta zona. Por esta razón es indispensable mejorar las técnicas de manejo y tratamiento de las aguas residuales para que las descargas de las mismas no sobrepasen los límites máximos permisibles establecidos en la legislación nacional y de esta manera no afectar la calidad ambiental al momento de regresar estas aguas al medio natural.

La realización de la investigación se enfoca en evaluar la efectividad de la especie *Eichhornia crassipes* para reducir las concentraciones contaminantes presentes en las aguas residuales de la ciudad de Castilla y de esta manera evitar la degradación ambiental de los acuíferos existentes en la zona. Además de que al usar la especie *Eichhornia crassipes*, se contribuiría con el control de la misma en el río Chira, pues debido a la eutrofización existente en este río su población aumenta sin control.

1.5.2. Importancia de la Investigación

La importancia de esta investigación radica en evaluar la capacidad de la especie *Eichhornia crassipes* para eliminar los contaminantes de las aguas residuales de la ciudad de Castilla y de esta manera evitar la degradación ambiental generada por estas descargas mejorando la calidad de vida, así como también reducir la probabilidad de enfermedades diarreicas agudas y otras gastrointestinales en la población local que consumen los productos irrigados con estas aguas, así mismo, esta investigación orientará nuevos proyectos que presenten situaciones similares a las que se plantean en el presente estudio, sirviendo como marco referencial.

1.5.3. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones radican principalmente en la falta de datos relacionados a la implementación de sistemas de tratamiento por fitorremediación tanto en Piura como en el Perú, así como la falta de experiencias de este sistema con la especie *Eichhornia crassipes* presente en el río Chira.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES

2.1. Ubicación Geográfica

La ciudad de Castilla está ubicada en el centro oeste de la región, en el valle del río Piura, al norte del desierto de Sechura, a 981 km al norte de Lima y próxima a la frontera con el Ecuador. Esta ciudad cuenta con la PTAR El Indio la cual se encarga de tratar sus aguas residuales.

La PTAR El Indio se localiza en la zona sur-este de la ciudad de Castilla, cercano al asentamiento humano El Indio. Consta de 02 construcciones diferentes con sistemas de tratamiento completamente separados.

Figura 2.1. Vista Panorámica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio³



³ FUENTE: Google (2015). Foto de satélite de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio, Castilla. Consulta: 12 Marzo 2015, <https://www.google.es/maps>

2.2. Características del Medio Físico

2.2.1. Clima

El clima en la ciudad de Castilla corresponde al de una zona sub-tropical y a un tipo de clima semi-tropical costero; caracterizado por su pluviosidad mínima y altas temperaturas, con pequeñas oscilaciones estacionales. En definitiva el clima es cálido y seco, y es típico de la Costa Norte del Perú. Este recibe influencia de las variaciones de la Faja Ecuatorial y los cambios de dirección en sentido Este-Oeste de las corrientes marinas de aguas frías (Humbolt) y caliente (Ecuatorial)⁴. Estas características generan altas temperaturas ambientales con escasez de precipitaciones, salvo durante periodos cortos y esporádicos, por ingresos al hemisferio sur de la corriente marina El Niño de aguas calientes de características extraordinarias.

Por ultimo se puede decir que el clima de la zona se divide en dos periodos claramente diferenciados: años considerados normales y años con influencia del fenómeno del niño.

a) Temperatura

La región nor-oriental del Perú en la que esta inmersa la zona llamada del Piura Medio, donde está ubicada la ciudad de Castilla, tiene un clima cálido la mayor parte del año, con temperaturas que varían entre los 16° C a 34° C. Las temperaturas mayores se producen en los meses de enero a marzo y entre julio a septiembre, corresponden a temperaturas consideradas medias; existen periodos de transición, abril a junio y octubre a diciembre.

⁴ FUENTE: Ministerio del Agricultura. (2008). *Diagnostico de Problemas y Conflictos de la Gestión del Agua en la Cuenta Chira - Piura*. Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/media/406310/caratula%20diagnostico%20chira%20piura.pdf>

En periodos de ocurrencia del fenómeno del niño la temperatura aumenta a niveles altos. Como por ejemplo se tiene que en 1983, año del fenómeno de El Niño, no hubo invierno (temperaturas bajas), manteniéndose las temperaturas elevadas hasta bien entrando el invierno, situación completamente anormal sin la influencia de este fenómeno.

b) Precipitaciones

Las precipitaciones pluviales promedio en la zona de Piura no superan los 50 mm/año. Durante el ciclo hidrológico, el periodo de mayor ocurrencia e intensidad se refiere a los meses de enero a marzo disminuyendo en los meses de estiaje, que corresponde al periodo de abril y diciembre.

Por otro lado, en la cuenca alta, llueve todo el año, con precipitaciones mayores durante los meses de enero a mayo y valores mínimos entre julio a septiembre.

El incremento de la precipitación, dentro de la cuenca, es evidente hasta la altitud de 2.300 msnm., antes de empezar a decrecer. La zona de máxima precipitación se ubica entre altitudes de 1.700 a 2.900 msnm⁵. Cabe indicar que esta distribución de precipitaciones no se aplica en años con la presencia del fenómeno de El Niño, ya que las condiciones de precipitación son significativamente diferentes, ya corresponden a una cuenca tropical.

Por otra parte, de manera similar a la temperatura, la escasa precipitación de la zona en las que esta ubicada la ciudad de Castilla alcanza valores superiores a los 2.000 mm, en periodos con la presencia del Fenómeno de “El Niño”. Cabe

⁵ FUENTE: Nippon Koei Co. Ltd. (2008). Expediente Técnico: *Informe de Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de El Indio Lagunas Nuevas*. Mayo del 2008, Piura – Perú.

indicar que los periodos de recurrencia de este fenómeno son cada vez mas cortos, a escala global, y regional, produciendo grandes cambios climáticos en el Mundo, en todo el Perú y en Piura, en particular. Para el análisis hidrológico es de fundamental importancia tener en cuenta este hecho, pues la ocurrencia de El Niño afecta completamente la zona de estudio.

Complementariamente, se debe considerar que las diferencias en magnitud entre la ocurrencia de este fenómeno y los años normales, se refleja en una mayor cantidad de lluvias y generación de caudales.

En años con influencia de El Niño, de acuerdo a la magnitud de las lluvias producidas, se ha clasificado en tres niveles: mínimo o débil, con precipitaciones menores a 1.000 mm; medio o moderado, con precipitaciones entre 2.000 y 1.000 mm; y, alto o fuerte (Meganiño) cuando las precipitaciones son mayores a los 2.000 mm. Por ejemplo, en 1983, se detecto la presencia de un Meganiño, siendo considerado uno de los mayores de los últimos 50 años; en este periodo se registraron precipitaciones del orden de los 2.300 mm; en 1998 los valores de precipitación fueron de 2.032 mm⁶.

c) Evaporación

La evaporación tiene una relación directa con la temperatura y la precipitación; por ello la evaporación es mayor durante el verano. La evaporación promedio anual en el valle de Piura es relativamente alta, del orden de 1.500 msnm.

⁶ FUENTE: Nippon Koei Co. Ltd. (2008). Expediente Técnico: *Informe de Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de El Indio Lagunas Nuevas*. Mayo del 2008, Piura – Perú.

d) Vientos

La dirección predominante del viento así como intensidad es variable a lo largo del año. En general, la magnitud media no sobrepasa los 10 m/s.

2.2.2. Hidrología

La cuenca del río Piura abarca un área de 10.229,64 km². Se puede decir que la fluviomorfología de río Piura es irregular y que cambia periódicamente de curso. El primer cambio que se tiene registrado fue en el año de 1871 y en 1983, años que hubo crecientes extraordinarias. Actualmente, el río Piura desciende con dirección noroeste hasta la localidad de Tambogrande, cambiando luego su dirección hacia el sur.

Con respecto a los caudales generados, en años normales, de manera similar a la precipitación, pueden ser tan bajos que pueden llegar a 0 m³/s, aunque dependen del sistema de regulación del proyecto Chira - Piura y de la generación de la Planta Hidroeléctrica de Curumuy.

De manera similar a la precipitación y, derivada de esta, la generación de caudales del río Medio y Bajo Piura se generan magnitudes extraordinarias en años de ocurrencia de El Niño. Para periodos cortos de tiempo, se evidencia grandes magnitudes de caudales. En 1983, el caudal máximo registrado fue de 3.200 m³/s, con una esorrentía total de 11 MMC, para un periodo de 189 días; en 1998, se registro el caudal máximo de 4.424 m³/s, con 13,5 MMC de esorrentía total, para 161 días, aproximadamente⁷.

⁷ FUENTE: Reyes, J. (2000). *Inundaciones y Drenaje Urbano - Perú*. Recuperado de http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/humedales/jorge-reyes_peru.pdf

El canal Daniel Escobar, termina en la central Hidroeléctrica de Curumuy; después se vierten las aguas nuevamente al río Piura; esta situación produce que el río Piura, en el tanto inicial, disponga de un caudal constante durante la mayor parte del año. Aunque, inmediatamente aguas abajo, el río es utilizado como fuente de abastecimiento para regar la zona del río Bajo Piura.

Adicionalmente, la cuenca del río Medio y Bajo Piura esta considerada como de alta intervención humana, con grandes niveles de transformación, por procesos de reforestación, desarrollos agrícolas, urbanización de riveras, ganadería extensiva, contaminación, etc., lo cual agrava la vulnerabilidad de algunas zonas ante la presencia de fenómenos hidrológicos como El Niño y, en especial, los Meganiños.

Además se sabe que el río Piura, de manera especial, en la zona de influencia de la ciudad de Piura adolece de una marcada contaminación de sus aguas, generándose focos de infección potenciales, en épocas del Fenómeno del Niño, como lo evidencia la generación de epidemias que se han dado en estos periodos⁸.

2.2.3. Hidrogeología

La cuenca del río Piura con respecto a los recursos hidrogeológicos tiene características particulares; por la forma de circulación de las aguas, las fuentes hídricas, los efectos y el contenido de los mismos.

Los usos de los recursos hidrogeológicos en la parte baja, media y alta de la cuenca han estado dirigidos a la utilización de esta agua para el aprovechamiento e irrigación de tierras y consumo humano, principalmente.

⁸ FUENTE: Parsons - Cesel (2000). EIA Proyecto: *Refuerzos al Sistema de Distribución de Agua Potable para Piura - Castilla*.

Las fuentes hidrogeológicas de la cuenca se originan por la recarga proveniente de las precipitaciones, que de acuerdo a la formación meteorológica y apreciación preliminar de campo tiene las siguientes características:

e) Franja de la parte alta

Las precipitaciones son casi constantes y la infiltración es intensa formando así manantiales, vertederos y puquios, que dan origen a las diferentes quebradas que forman parte principal del río Piura (partes altas de Canchaque, Santo Domingo, Chalaco, Lalaquí, Frías, Huarmaca, etc.).

f) Franja de la parte media – superior

Con precipitaciones medianamente abundantes, infiltración de acuerdo a litología y estructuras; es el límite superior de los afloramientos de fuentes de vertientes (Pambarumbe, Paltashaco, San Jorge, Los Ranchos y La Filadera).

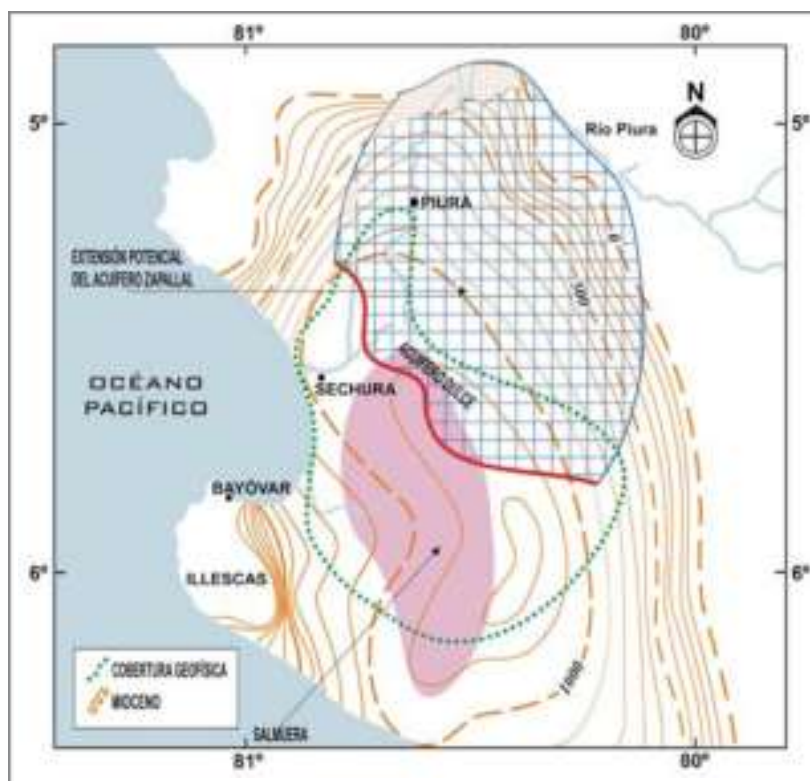
g) Franja de la parte baja

Tiene precipitaciones esporádicas escorrentía casi nula, donde el aprovechamiento de las aguas de los reservorios Poechos, San Lorenzo y Los Ejidos es intensa (Piura, Bajo Piura, Sechura, Bernal, Catacaos, etc.).

En condiciones variables de sedimentación y el espacio del lecho del río Piura, han permitido conformar acuíferos con materiales como grava, arena, limo y arcilla, determinando estratos permeables e impermeables como es el caso del acuífero del Bajo Piura.

El acuífero del Bajo Piura se caracteriza por tener dos formaciones: una denominada acuífero libre, donde predominan los estratos arcillosos; el otro es un acuífero confinado limitado por la formación geológica Zapallal, que esta constituido por arenas finas, el techo de este acuífero se encuentra a una profundidad cercana a los 100 m.

Figura 2.2. Extensión del Acuífero Confinado Zapallal⁹



La napa freática de la parte baja es superficial, entre 0 y 2 m, con una extensión de 355 km². La napa freática del acuífero confinado se localiza entre los 70 a 150 m de profundidad.

⁹ FUENTE: Noël Pallais Checa, PhD (2011). *Cinco Mitos Conceptuales del Agua en la Costa del Perú*. Recuperado de: <https://noelpallais.wordpress.com/tag/zapallal/>

Cabe indicar que en periodos de ocurrencia del fenómeno de El Niño, los acuíferos de la región de Piura, en general, se recargan con las lluvias extremas durante los fenómenos del El Niño, siendo quizás el impacto positivo mas significativo. En estos años de pluviosidad extrema el acuífero de Piura se recupera notablemente, pasando de una profundidad de bombeo promedio de 100 m, antes de la recarga, a solo 8 m después de la recarga. Los beneficiarios son todos los usuarios, como agricultores, que usan estos recursos para sus desarrollos agrícolas así como loa habitantes de Piura¹⁰.

2.2.4. Geología

El Sector ubicado en el terreno donde se ubica la Planta de tratamiento de aguas residuales El Indio, esta conformado predominantemente por arenas de grano medio a fino SP de origen eólico y en algunos sectores por capas delgadas de arcillas arenosas y arenas limosas muy erráticas.

Geomorfológicamente el área de estudio presenta en general un relieve relativamente plano con colinas de pequeña elevación y zonas de depresión que en épocas de grandes precipitaciones pluviales son inundadas.

Desde el punto de vista Geotectónico, la zona de estudio no presenta diaclasas, ni fallas de distensión, por lo que no hay evidencias de deformación geotectónica.

¹⁰ FUENTE: Reyes, J. (2000). *Inundaciones y Drenaje Urbano - Perú*. Recuperado de http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/humedales/jorge-reyes_peru.pdf

2.3. Características del Medio Biológico

2.3.1. Zona de vida

El área de estudio se encuentra en el Desierto Superárido – Premontano Tropical según el sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge. Esta Zona de Vida se ubica en la región latitudinal tropical del país y se extiende a lo largo del litoral, comprendiendo los llanos costeros del Norte peruano. El clima según esta misma publicación presenta las siguientes características: promedio máximo de precipitación anual de 60 mm y mínima de 5,4 mm. La biotemperatura media anual máxima de 24° C y la mínima de 19,7° C¹¹.

Exactamente en el lugar donde se realizara el proyecto el relieve es plano a ondulado con suelos profundos de textura variable con predominio de arenas. El área de estudio presenta una vegetación típica de desierto con especies xerófilas destacando los géneros *Prosopis*, *capparis*, *Acacia* y *Vallesia*. El uso actual de la tierra esta fuertemente condicionado a la disponibilidad de agua para actividades agropecuarias; siendo este también el uso potencial mas probable.

2.3.2. Flora

Este componente biológico constituye la base de la red trófica y determina el hábitat donde se desarrolla la fauna, así mismo es una importante fuente de recursos para los lugareños.

¹¹ FUENTE: Ministerio de Agricultura (1994). *Mapa Ecológico del Perú - Guía Explicativa*. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/bryanerj/gua-explicativa-del-mapa-ecologico-del-per-1995>

El área de influencia directa e indirecta del lugar donde se encuentra la PTAR El Indio esta básicamente constituida por una vegetación de matorral desértico transicional a bosque de algarrobos destacando especies de *Prosopis juliflora* “algarrobo”; *Acacia macracantha* “faique”, *Capparis ovalifolia* “vichayo” y *Vallesia glabra* “cuncun”. Las especies nativas registradas en la zona de estudio se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.1. Resumen de Especies de Flora Registradas en el Área de Estudio¹²

Nombre Científico	Nombre Común	Familia
<i>Vallesia glabra</i>	uncun	Apocinaceae
<i>Cordia lutea</i>	overo	Boraginaceae
<i>Heliotropium sp.</i>	mano de ratón	Boraginaceae
<i>Capparis ovalifolia</i>	vichayo	Capparaceae
<i>Capparis scabrida</i>	sapote	Capparaceae
<i>Capparis sp.</i>	-	Capparaceae
<i>Acacia macracantha</i>	faique	Mimosaceae
<i>Prosopis juliflora var. horrida</i>	algarrobo	Mimosaceae
<i>Grabowskia sp.</i>	-	Solanaceae
<i>Typha angustifolia</i>	tatora	Tifaceae

¹² FUENTE: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Grau s.a. (2010). Expediente Técnico del Proyecto: *Mejoramiento del Sistema de Evacuación de Aguas Servidas Tratadas de la Planta de Tratamiento El Indio - Castilla.*

2.3.3. Fauna

En el ecosistema artificial de las lagunas de oxidación y en la formación vegetal considerada en el área de influencia directa e indirecta del proyecto fueron registradas las siguientes especies de aves que se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.2. Resumen de Especies de Fauna Registradas en el Área de Estudio¹³

Nombre Científico	Nombre Común	Familia
<i>Amazilia Amazilia</i>	picaflor	Trochilidae
<i>Columbina cruziana</i>	tortolita	Columbidae
<i>Egretta thula</i>	garza	Ardeidae
<i>Geositta peruviana</i>	minero peruano	Furnariidae
<i>Larus sp.</i>	gaviota	Laridae
<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	golondrina	Hirundinidae
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	petirojo	Tyrannidae
<i>Zenaida auriculata</i>	tórtola	Columbidae
<i>Zenaida meloda</i>	cuculí	Columbidae
<i>Anas sp.</i>	Pato	Anatidae
<i>Gallinula chloropus</i>	gallareta	Rallidae

En relación a los otros grupos taxonómicos de vertebrados solo se pudo identificar la presencia de lagartijas de género *Ameiva*, además de otros dos géneros de reptiles: *Microlophus* y *Callospistes* conocidos como “capón” y

¹³ FUENTE: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Grau s.a. (2010). Expediente Técnico del Proyecto: *Mejoramiento del Sistema de Evacuación de Aguas Servidas Tratadas de la Planta de Tratamiento El Indio - Castilla*.

“pacaso” respectivamente. Ninguna de las especies citadas se encuentran en situación de amenaza según la legislación nacional con norma D.S. 034-2004-AG.

2.4. Características del Medio Socioeconómico y Cultural

2.4.1. Población

Actualmente, según el Censo del 2007, la región de Piura tiene una población de 1.725.488 habitantes, que representan el 6,2% del total nacional, registrando un crecimiento relativo de 1,2% que incrementa la población en 19.000 personas cada año. La distribución de la población no es uniforme. Diversos patrones de asentamiento poblacional son la característica básica asociada a diversos niveles de vida y/o condición socioeconómica. En el año 2007, 665.991 habitantes se asentaron en la provincia de Piura, representando el 39,4% de la población departamental; el resto de la población se distribuye en el resto de provincias.

A nivel de Piura la población urbana ha crecido, en estas últimas décadas, en un porcentaje de 35,6% en 1940 al 70,4%, en 1993. Cabe anotar que el porcentaje máximo se alcanzó en 1972 con un 84,7%, por las grandes migraciones que se sucedieron en esa época. Por lo tanto, la densidad poblacional es de 103,42 hab/km², para la provincia de Piura, con una superficie de 6.211,16 km².

Cuadro 2.3. Población Total a Nivel Provincial de Piura¹⁴

Nacional / Provincial	Población 2007	
	Total	%
Perú	28,220,764	100
Departamento de Piura	1,725,488	6.2
Provincia de Piura	665,991	39.4
Provincia de Ayabaca	138,403	8.5
Provincia de Huancabamba	124,298	7.6
Provincia de Morropón	159,693	10
Provincia de Paita	108,535	6.4
Provincia de Sullana	287,680	17
Provincia de Talara	129,396	7.5
Provincia de Sechura	62,319	3.6

A nivel distrital, Castilla alberga a 260.363 habitantes, de ellos el 48.4% son hombres y el 51,6% son mujeres, el 97,6% es urbana y el 2,4% rural. La densidad poblacional para el distrito de Castilla es de 750,61 hab/km².

Cuadro 2.4. Población a Nivel Distrital por Área Geográfica y Sexo

Distritos	Población Censo 2007						
	Total	Sexo				Urbano %	Rural %
		Hombres	%	Mujeres	%		
Castilla	260,363	125,068	48.4	135,295	51.6	97.6	2.4

¹⁴ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

Para el distrito de Castilla, la población de 10 a 14 años es del 29,2%, para el grupo de 15 a 64 años es del 65,4% y para los de 65 años a más es del 5,4%; es decir que en el distrito, la proporción de la población por grupos de edades son casi similares.

Cuadro 2.5. Composición de la Población por Grupos de Edad y Sexo del Distrito de Castilla¹⁵

Grupos de Edades	Total	%	Hombres	%	Mujeres	%
Distrito de Castilla	260,363	100	125,068	100	135,295	100
De 0 - 14 Años	72,691	29.2	36,804	30.7	35,475	27.7
De 15 - 64 Años	170,507	65.4	77,000		85,203	66.6
De 65 Años a Más	15,165	5.4	6,111		7,305	5.7

Complementariamente, hubo una alta migración hacia esta región. A partir del año 1940, el crecimiento demográfico ha sido acelerado. Según INEI (Censo Nacional de Población 1993), en 53 años la población de Piura creció 3,3 veces, o sea desde una cifra de 432.000 a 1'409.000 habitantes; lo cual nos hace transitar desde el sexto departamento más poblado (en 1940) al segundo departamento más poblado del país (en 1993). Las oleadas migratorias se deben a diferentes factores. El primero esta relacionado por los cambios ocurridos en 1970, con la transformación del latifundio en minifundio. El segundo factor fue la calidad educativa impartida en las capitales departamentales, unidas a la turbulencia terrorista de los 80 y la consecuente crisis económica de los 90, lo que convierten a Piura en una de las ciudades mas pobladas del Perú.

¹⁵ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

El mayor porcentaje de migrantes, según su procedencia, proviene de la costa, con el 81,4%, para el periodo comprendido entre 1976 y 1981; el 75,6% para el periodo 1988 y 1993. Si hablamos de ciudades, de Lima provienen la mayor cantidad de emigrantes, con porcentajes del 41,3%, para 1976 – 1981 y 37,3% para 1998 – 1993. En 1993, el porcentaje es de 26,3% de emigrantes desde Lima.

2.4.2. Indicadores Socioeconómicos

a) Índice de Natalidad

La tasa global de fecundidad (hijos por mujer) para la región de Piura es de 3 para el periodo 2000 – 2007 y la proyectada para el 2007 – 2010 es de 2,5. La tasa bruta de natalidad (por mil) es de 24,7%, para el periodo 2007 – 2010 y 22,5%, para el periodo 2007 – 2010.

b) Índice de Mortalidad

- **Tasa de mortalidad bruta:** La tasa de mortalidad de Piura es del 7,5%, tasa mayor a la medio del país que es del 6,4% para el periodo 1995 – 2000. Para el periodo 2000 – 2007, la tasa bruta de mortalidad decrece a valores de 7% y 6,2% respectivamente.
- **Tasa de mortalidad infantil:** La tasa alcanza valores del 50% para el periodo 1995 – 2000; 45% para el 2000 – 2007; 40% para 2007 – 2010, y se estima tener tasa similares al 35% para el periodo 2010 – 2015.

- **Esperanza de vida al nacer:** Actualmente la esperanza de vida al nacer del país es de 71,5 años, para el distrito de Castilla es menor siendo este del 70,3 años. La evolución de este parámetro es positivo pues en el periodo 1995 – 2000 se tenían valores del 66,5% y se proyecta tener para el 2010 – 2015, valores del 71,1 años, por las mejoras en la calidad de vida de la región, en particular y del país en general.

2.4.3. Indicadores Sociales

Los indicadores de pobreza y pobreza extrema, dentro del país, varía considerablemente entre regiones. En general, las regiones de mas pobreza se ubican en la sierra. Con respecto a las regiones de la costa los indicadores también varían, Piura no esta catalogada como la región de menos pobreza pero tampoco lo esta como la mejor económicamente, se ubica con indicadores medios. La pobreza total del departamento de Piura es de 63,3%, significativamente menor que el departamento de mayor pobreza que es Huancavelica con el 88%, situado en la sierra. Con respecto a la pobreza extrema, el departamento de Piura tiene un 21,4% mientras que Huancavelica que encabeza la lista tiene el 74%.

Utilizando el gasto como indicador de bienestar se tiene que es del 63,3%, en la población del departamento de Piura, y 54,8% del promedio general del país. Utilizando el medio de las necesidades básicas insatisfechas, se obtiene la pobreza objetiva no monetaria. El 41,9% de la población del país y el 53% de la población de Piura vive privada de los medio materiales para satisfacer mínimamente sus necesidades básicas.

Por otro lado, el índice de la pobreza humana afecta al 15,5% del país y al 17,2% de la población piurana. De todos modos la región de Piura se encuentra entre las mejores regiones o si se quiere entre las menos pobres.

2.4.4. Indicadores Demográficos

Por lo general los departamentos mas pobres presentan tasas mayores de fecundidad, mortalidad y desnutrición crónica que los departamentos que gozan de mejores condiciones de vida, en los cuales estos índices son mucho mas altos. La tasa de fecundidad es de 2,7 hijos, por mujer, menor al nacional de 2,9 hijos, por mujer. La tasa de mortalidad de Piura es de 37 por cada mil nacidos vivos mientras que el promedio nacional es de 43 por cada mil. Esto comparado con el departamento mas pobre, en este caso, Cuzco con 84 mil es mucho menor.

La desnutrición crónica afecta al 21,1% de los niños menores de 5 años en Piura, que comparado con la tasa nacional de 25,4%, es menor. La migración, por otro lado, comparado departamento a departamento, se caracteriza por las mejores condiciones de vida, lo que en Piura se ha dado por el mayor desarrollo económico en las ultimas décadas. Los indicadores muestran que la tasa de pobreza para los nacidos en Piura, y que quedaron a residir, es del 64,3%, mientras que los piuranos que emigraron a otros departamentos fueron pobres solo en el 43,1%.

2.4.5. Educación

El servicio educativo que se imparte en el distrito de Castilla, es a través de los diferentes niveles y modalidades que existen en la educación peruana, es decir, hay, nivel inicial, primario de menores, primario de adultos, secundaria de menores, secundaria de adultos, educación especial, educación ocupacional (CEOS), superior no universitaria y universitaria.

Cuadro 2.6. Consolidado de la Población Escolar a Nivel del Distrito de Castilla¹⁶

Nivel / Modalidad	Alumnos (2007)	%	Docentes (2007)	%	Secciones (2007)	%
CEO	3,452	3.1	204	3.4	152	3.5
Educación Artística: Escuelas	407	0.4	46	0.8	21	0.5
Educación Especial	301	0.3	63	1.1	47	1.1
Educación Magisterial - ISP	1,260	1.1	110	1.8	48	1.1
Educación Superior Tecnológico	9,267	8.2	575	9.7	346	8.0
Inicial Cuna - Jardín	2,730	2.4	210	3.5	177	4.1
Inicial Jardín	8,601	7.6	457	7.7	505	11.7
Primaria de Adultos	315	0.3	14	0.2	38	0.9
Primaria de Menores	48,426	42.9	2,122	35.6	1,826	42.3
Secundaria de Adultos	3,537	3.1	142	2.4	107	2.5
Secundaria de Menores	34,642	10.7	2,010	33.8	1,053	24.4
Total	112,938	100.0	5,953	100.0	4,320	100.0

Con respecto al área de influencia del proyecto, el 92% de la población sabe leer y escribir, mientras que el 8% no sabe. El nivel de educación alcanzado por los pobladores del área de influencia es: el 26,7% tiene secundaria completa, el 18,7% tiene primaria completa, el 15% tiene superior no universitaria, el 14% tienen secundaria incompleta, el 9,6% tienen Primaria incompleta, el 8,4% tienen superior universitaria y el 7,6% es analfabeta.

¹⁶ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), "Sistema de Resultados de Datos Censales" [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

En toda el área de influencia al proyecto el 68,4% de padres de familias tienen hijos en edad escolar y el 31,6% no tiene. De los que tienen hijos en edad escolar el 80,7% asiste a institución educativa estatal, mientras que el 19,3% a privada.

La infraestructura de los centros educativos, al que asisten los alumnos del área de influencia al proyecto son construidas de la siguiente manera: la pared en un 100% es de ladrillo; el techo el 58,5% es de concreto armado y el 35,1% de calamina; el piso el 98,8% es de cemento y el 1,2% de tierra. Con respecto a los servicios higiénicos el 96,5% están conectados al servicio de red, mientras que el 3,5% tienen modulo de letrina. Las deficiencias en la infraestructura educativa esta localizada en los asentamiento humanos marginales de Piura.

A continuación se presentan datos proporcionados por el censo del 2007, donde se puede observar el nivel educativo del distrito de Castilla:

Cuadro 2.7. Nivel Educativo del Distrito de Castilla¹⁷

Categoría	Castilla	
	Casos	%
Sin Nivel	17,545	7.5
Educación Inicial	6,600	2.8
Primaria Incompleta	39,179	16.8
Primaria Completa	19,854	8.5
Secundaria Incompleta	35,165	15.0
Secundaria Completa	49,782	21.3

¹⁷ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

Categoría	Castilla	
	Casos	%
Superior No Universitaria Incompleta	8,699	3.7
Superior No Universitaria Completa	25,995	11.1
Superior Universitaria Incompleta	13,097	5.6
Superior Universitaria Completa	17,809	7.6
Total	233,723	100.0

Lo resaltante es, los indicadores porcentuales mas altos corresponden a los niveles educativos comprendidos entre los que tienen Primaria Incompleta, hasta Secundaria Completa y solo el 28% de los habitantes del distrito de Castilla han pisado un claustro del nivel superior, lo que podríamos inferir que el nivel educativo de los piuranos es bajo.

2.4.6. Salud

En el departamento de Piura, hay variedad de establecimientos de salud pertenecientes a instituciones diferentes. Están presentes el Ministerio de Salud (MINSA), EsSALUD, FF.AA., Sanidad de las Fuerzas policiales, clínicas y consultorios privados. El servicio de salud que se brinda, es a través de Hospitales, Centros de Salud, Puestos de Salud y otros, con profesionales médicos de acuerdo a su especialidad. En total, existen 5 hospitales, 76 Centros de Salud, 313 puestos de salud y otros 37 locales; cabe distinguir que 380 establecimientos hospitalarios pertenecen al MINSA, 19 al ESSALUD, 15 de FF.AA. y 22 privados.

La población del departamento de Piura, en su mayoría, busca atención de salud en los diferentes establecimientos de Salud de su jurisdicción y perteneciente al MINSA; en caso de contar con seguro de atención acuden a EsSALUD. Se debe señalar que en la localidad de Piura aun persisten algunas

prácticas de buscar atención de salud en los sistemas tradicionales, vale decir, chamanes, parteras y personas con conocimiento de la medicina tradicional.

Solamente el 14,5% de la población del departamento de Piura tiene seguro permanente de salud, siendo este porcentaje superior en un 3,1% a la media nacional. Además, el acceso es inequitativo entre pobres y no pobres.

Según la población la enfermedad más frecuente, en la zona de influencia al proyecto, es la gripe o resfrío, seguida por la bronquitis y la diarrea, continúan la neumonía, el dengue y la malaria.

Con respecto a las causas de estas enfermedades la población indica como causantes a los cambios de clima, a la contaminación ambiental (presencia de basura, presencia de aguas residuales, colapsan los desagües, etc.), falta de higiene, a que se consume agua sin hervir y la picadura del zancudo turula.

2.4.7. Cobertura de Servicios

a) Servicio de Agua

Para el distrito de Castilla, de las 41.654 viviendas registradas por el censo del 2007, las viviendas conectadas directamente al servicio de red pública de agua potable es del 71,1%, las viviendas conectadas a la red pública fuera de la vivienda pero dentro del edificio es el 1,5%, el uso de pilón de uso público representa el 6,3%, el 1,9% se abastece del agua de camión cisterna u otro similar; el 0,3% se abastece de agua de pozo, el 2,5% se abastece de agua de río, acequia, manantial o similar y el 6,4% pertenece a la categoría otros. En conclusión el 11,1% de las viviendas no están conectadas al servicio de red de agua potable.

Cuadro 2.8. Viviendas Particulares por Tipo de Abastecimiento de Agua Potable del Distrito de Castilla¹⁸

Categoría	Servicio de Agua 2007 Castilla	
	Casos	%
Red pública dentro de la vivienda	41,654	81.1
Red pública fuera de la vivienda pero dentro del edificio	795	1.5
Pilón de uso público	3,230	6.3
Camión cisterna u otros	970	1.9
Pozo	163	0.3
Río, acequia, manantial o similar	1,271	2.5
Otro	3,278	6.4
Total	51,361	100.0

En la zona de influencia al proyecto el 73,6% de las viviendas están conectadas al servicio de agua de red pública, el 13,6% consume agua de pilón de uso público y el 12,8% no tiene servicio de agua, por lo que se abastece de otras fuentes como camión cisterna, agua de pozo y/o de solicitarlo a los vecinos

b) Servicio de Desagüe

Para el distrito de Castilla, de las 36.300 viviendas, están conectadas a red pública de desagüe dentro de la vivienda el 70,7%, el 0,6% pertenece a las viviendas conectadas a red pública fuera de la vivienda pero dentro del edificio, el 2,8% de las viviendas tienen pozo séptico, el 18,2% de las viviendas tienen

¹⁸ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

pozo ciego o negro/letrina, el 0,2% defeca sobre el río, acequia o canal y el 7,6% de las viviendas no tienen servicios higiénicos. En conclusión podemos decir que el 26% de la población del distrito no tiene servicio de desagüe conectado a la red.

Cuadro 2.9. Viviendas Particulares por Tipo de Servicios Higiénicos del Distrito de Castilla¹⁹

Categoría	Servicio de Desagüe 2007	
	Castilla	
	Casos	%
Red pública dentro de la vivienda	36,300	70.7
Red pública fuera de la vivienda pero dentro del edificio	293	0.6
Pozo séptico	1,419	2.8
Pozo ciego o negro / letrina	9,343	18.2
Río, acequia o canal	98	0.2
No tienen	3,908	7.6
Total	51,361	100.0

Con respecto al tipo de servicios de desagüe es: el 59,6% esta conectado al servicio de red publica, el 4,4% tiene pozos ciegos o letrina y el 36% no tiene servicio de alcantarillado, principalmente en los asentamientos humanos del área de influencia al proyecto.

¹⁹ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

c) Servicio de Electrificación

Para el distrito de Castilla, el 87,3% de las viviendas cuentan con el servicio de energía eléctrica, el 7,2% de la población se ilumina con kerosene (mechero / lamparín), el 0,2% usan lámparas a petróleo o gas, el 4,2% se ilumina con vela, el 0,1% usa generador, el 0,8% usan otro tipo de energía y el 0,2% de viviendas no tienen luz. En conclusión podemos decir que el 12,7% de la población del distrito no tiene servicio de energía eléctrica.

Cuadro 2.10. Viviendas Particulares por Tipo de Servicios de Alumbrado del Distrito de Castilla²⁰

Categoría	Servicio de Electricidad 2007 Castilla	
	Casos	%
Electricidad	44,822	87.3
Kerosene (mechero / lamparín)	3,674	7.2
Petróleo / gas (lámpara)	100	0.2
Vela	2,155	4.2
Generador	59	0.1
Otro	429	0.8
No tiene	122	0.2
Total	51,361	100.0

²⁰ FUENTE: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.

En las localidades consideradas dentro del área de influencia al proyecto, el 88,9% de la población tiene luz eléctrica, mientras que el 11,1% no tiene luz eléctrica, para alumbrarse por la noche recurren al uso de lámparas, mecheros y velas.

d) Servicio de Telefonía

Hogares con telefonía: es menor que el promedio nacional. El 10,7% acceden al servicio. Además, el 1,3% de pobres cuentan con el servicio y el 21% de no pobres cuentan con el servicio.

e) Servicio de Desechos Solidos

La eliminación de los residuos solidos, por parte de las autoridades competentes y pobladores del distrito de Castilla son insuficientes y se realiza de forma inadecuada. El sistema de limpieza puesta en acción por parte de la Municipalidad no es suficiente, los carros recolectores pasa una vez por semana y por algunos asentamientos humanos nunca aparece; este problema, se suma la falta de educación del poblador residente, quienes arrojan basura y desmontes contaminando las calles, canales o ríos y descampados, particularmente los descampados de los asentamientos humanos considerados dentro del área de influencia.

Según la población encuestada sobre el destino de los desechos solidos los resultados son: el 86% espera el carro recolector, el 6,8% arroja a las calles, el 5,2% arroja al río o canales, el 1,2% los quemas y el 0,8% utilizan otros medios de desechos. En conclusión el 14% de la población del área de influencia al proyecto hace uso inadecuado de la basura.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Aguas Residuales

3.1.1. Definición

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación²¹.

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

El término aguas negras también es equivalente debido a la coloración oscura que presentan. Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos mg/litro en el

²¹ FUENTE: Torres, C. *Problemas de la Contaminación de Aguas Residuales*. Recuperado de: <http://es.calameo.com/books/00259555496708516882a#>

agua de lluvia a cerca de 35 mg/litro en el agua de mar. A esto hay que añadir, en las aguas residuales, las impurezas procedentes del proceso productor de desechos, que son los propiamente llamados vertidos. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

La composición y su tratamiento pueden diferir mucho de un caso a otro, por lo que en los residuos industriales es preferible la depuración en el origen del vertido que su depuración conjunta posterior.

3.1.2. Características de las Aguas Residuales

a) Sustancias Químicas

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución²². Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

- Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.
- Aniones y cationes inorgánicos y compuestos orgánicos

²² FUENTE: Mengual, A. (2008). *Aguas Negras, Composición y Tratamientos*. Recuperado de: http://www.urbipedia.org/index.php?title=Aguas_negras

- Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminos y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

b) Características Bacteriológicas

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Salmonellas

c) Materia en Suspensión y Materia Disuelta

A efectos del tratamiento, la gran división es entre materia en suspensión y materia disuelta.

- La materia en suspensión se separa por tratamientos fisicoquímicos, variantes de la sedimentación y filtración. En el caso de la materia suspendida sólida se trata de separaciones sólido - líquido por gravedad o medios filtrantes y, en el caso de la materia aceitosa, se emplea la separación habitualmente por flotación.

- La materia disuelta puede ser orgánica, en cuyo caso el método más extendido es su insolubilización como material celular o inorgánica, en cuyo caso se deben emplear caros tratamientos fisicoquímicos como la ósmosis inversa.

Los diferentes métodos de tratamiento atienden al tipo de contaminación: para la materia en suspensión, tanto orgánica como inorgánica, se emplea la sedimentación y la filtración en todas sus variantes. Para la materia disuelta se emplean los tratamientos biológicos si es orgánica, o los métodos de membranas, como la ósmosis, si es inorgánica.

3.1.3. Influencia en el Medio Receptor

Se entiende por contaminación, a la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

- Vertido de sustancias orgánicas degradables: producen una disminución del oxígeno disuelto, ya que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio: se consume oxígeno combinado en lugar de molecular, creándose un ambiente reductor, con la aparición de amoníaco, nitrógeno y ácido sulfhídrico, y la reducción de sulfatos a sulfuros; el agua se torna oscura, de olor desagradable y con gérmenes patógenos.

- Incorporación de compuestos tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Eliminan los organismos depuradores, o bien inhiben su desarrollo impidiendo reacciones enzimáticas. Intoxican también a varios niveles de la cadena trófica, desde microorganismos hasta animales superiores.
- Incorporación de materia en suspensión, que reduce la entrada de luz y atasca los órganos respiratorios y filtradores de muchos animales.
- Alteración del equilibrio salino (balance en sodio, calcio, etc....) y del pH.

3.1.4. Análisis mas Frecuentes para Aguas Residuales²³

A) Análisis Físico – Químicos

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

²³ FUENTE: Fiallos L. (2011). *Innovación Biológica para la Depuración de Aguas Contaminadas en la Estación "El Peral" Emapa - Ambato* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/829/1/BQ9%20Ref.%203364.pdf>

Temperatura

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

La temperatura afecta a parámetros o características tales como:

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

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

Potencial Hidrógeno

El pH del agua pura es. Como consecuencia de la presencia de ácidos y bases y de la hidrólisis de las sales disueltas, el valor del pH puede disminuir o aumentar. La presencia de sales de bases fuertes y ácidos débiles como Na_2CO_3 (Carbonato de Sodio) incrementa el pH. Sales de bases débiles y ácidos fuertes como CaCl_2 (Cloruro de Calcio) produce disminución del mismo.

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

Sólidos Disueltos Totales

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

Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas) mediante el uso de sustancias químicas como el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (Sulfato de Aluminio).

Conductividad

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

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

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

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

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

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

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

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

- $DBO_5/DQO < 0,2$ indican la presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.
- $DBO_5/DQO > 0,6$ señalan la presencia predominante de contaminación orgánica de naturaleza biodegradable.

Nitrógeno Total

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.

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

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

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

Fósforo Total

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

un elemento muy importante para el desarrollo vegetal, pero de igual manera, un exceso de fósforo en las aguas puede desencadenar problemas de eutrofización.

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

Detergentes

Los detergentes después de ser utilizados en la limpieza doméstica e industrial son arrojados a las alcantarillas de las aguas residuales y se convierten en fuente de contaminación del agua. Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación.

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

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

Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes del agua al ser arrojados en las aguas residuales.

El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte.

Color

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

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

medida que éste es más intenso, la capacidad de absorción de energía solar es mayor, y ello redundará en una ligera elevación de la temperatura del suelo.

Olor

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

b) Análisis Microbiológicos

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

De forma paralela al estudio de índices físico-químicos para valorar la contaminación de un agua, se ha desarrollado una metodología basada en el factor biológico de las aguas, que tiene el gran interés de ser un factor integrador de todos los restantes que afectan a la calidad.

Se basa en determinar la influencia de la contaminación en la composición y estructura de las comunidades biológicas que viven en las aguas y los cambios que se producen en las mismas.

Índice de Coliformes Totales

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

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

Los microorganismos que están presentes en las aguas residuales son muy diversos, sin embargo, la determinación del número más probable de microorganismos (NMP) Coliformes Fecales y Coliformes Totales en 100 ml de muestra da un indicio del grado de contaminación del agua residual. El Método de Numero Mas Probable (NMP) es una estrategia eficiente de estimación de densidades poblacionales especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible.

Índice de Coliformes Fecales

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

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

3.1.5. Tratamiento de las Aguas Residuales

Toda agua servida o residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida se debe conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los ingenieros expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo.

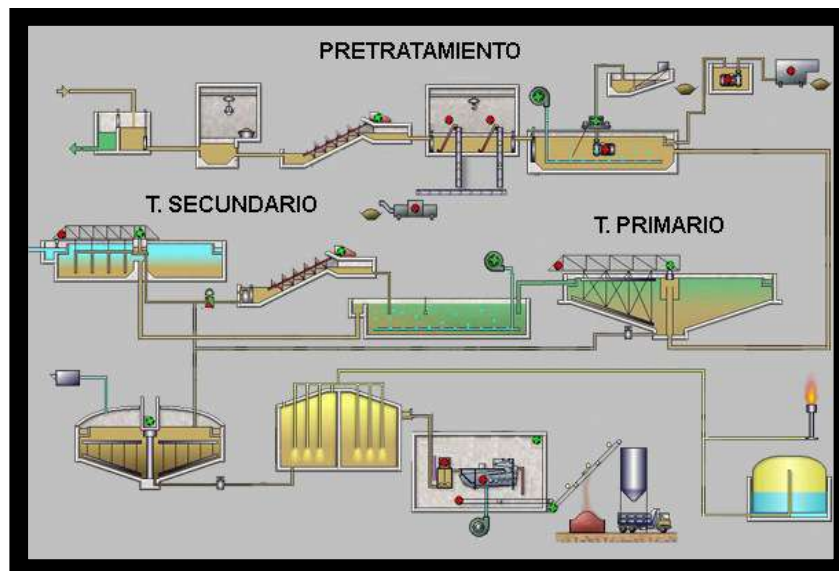
Una Estación depuradora de aguas residuales tiene la función de eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna, de manera que se pueda devolver el agua al medio ambiente en condiciones adecuadas. El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta. Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella.

Como se ve en este gráfico, la etapa primaria elimina el 60% de los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO. La etapa secundaria, en cambio, elimina el 30% de los sólidos suspendidos y un 55% de la DBO.

a) Etapas del Tratamiento de las Aguas Residuales

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria.

Figura 3.1. Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales²⁴



²⁴ FUENTE: Mengual, A. (2008). *Aguas Negras, Composición y Tratamientos*. Recuperado de: http://www.urbipedia.org/index.php?title=Aguas_negras

Etapas Preliminares

La etapa preliminar debe cumplir dos funciones:

1. Medir y regular el caudal de agua que llega a la planta
2. Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

Normalmente las plantas están diseñadas para tratar un volumen de agua constante, lo cual debe adaptarse a que el agua servida producida por una comunidad no es constante. Hay horas, generalmente durante el día, en las que el volumen de agua producida es mayor, por lo que deben instalarse sistemas de regulación de forma que el caudal que ingrese al sistema de tratamiento sea uniforme.

Asimismo, para que el proceso pueda efectuarse normalmente, es necesario filtrar el agua para retirar de ella sólidos y grasas. Las estructuras encargadas de esta función son las rejillas, tamices, trituradores (a veces), desgrasadores y desarenadores. En esta etapa también se puede realizar la preaireación, cuyas funciones son: a) Eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua servida, que se caracterizan por ser malolientes, y b) Aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

Etapa Primaria

Tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes. Así, para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos (sales de hierro, aluminio y polielectrolitos floculantes) con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

Las estructuras encargadas de esta función son los estanques de sedimentación primarios o clarificadores primarios. Habitualmente están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen tasas de sedimentación de 0,3 a 0,7 mm/s. Asimismo, el período de retención es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios sedimentadores primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular.

Etapa Secundaria

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación, más los que se desarrollan, en menor medida en el decantador secundario. Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador

secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que hay que buscar un medio de eliminarlos.

En el decantador secundario, hay un flujo tranquilo de agua, de forma que la biomasa, es decir, los flóculos bacterianos producidos en el reactor, sedimentan. El sedimento que se produce y que, como se dijo, está formado fundamentalmente por bacterias, se denomina fango activo.

Los microorganismos del reactor aireado pueden estar en suspensión en el agua (procesos de crecimiento suspendido o fangos activados), adheridos a un medio de suspensión (procesos de crecimiento adherido) o distribuidos en un sistema mixto (procesos de crecimiento mixto).

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

Etapas Terciarias

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en cursos de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará.

b) Principales Pasos para el Tratamiento de Aguas Residuales

Desinfección

Las aguas servidas tratadas normalmente contienen microorganismos patógenos que sobreviven a las etapas anteriores de tratamiento. Las cantidades de microorganismos van de 10.000 a 100.000 coliformes totales y 1.000 a 10.000 coliformes fecales por 100 ml de agua, como también se aíslan algunos virus y huevos de parásitos. Por tal razón es necesario proceder a la desinfección del agua. Esta desinfección es especialmente importante si estas aguas van a ser descargadas a aguas de uso recreacional, aguas donde se cultivan mariscos o aguas que pudieran usarse como fuente de agua para consumo humano.

Los métodos de desinfección de las aguas servidas son principalmente la cloración y la ozonización, pero también se ha usado la bromación y la radiación ultravioleta. El más usado es la cloración por ser barata, fácilmente disponible y muy efectiva. Sin embargo, como el cloro es tóxico para la vida acuática el agua tratada con este elemento debe ser sometida a dechloración antes de disponerla a cursos de agua natural.

Desde el punto de vista de la salud pública se encuentra aceptable un agua servida que contiene menos de 1.000 coliformes totales por 100 ml y con una DBO inferior a 50 mg/L.

La estructura que se usa para efectuar la cloración es la cámara de contacto. Consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos.

Tratamiento de los fangos

Los sedimentos que se generan en las etapas primaria y secundaria se denominan fangos. Estos fangos contienen gran cantidad de agua (99%), microorganismos patógenos y contaminantes orgánicos e inorgánicos. Se han desarrollado varios métodos para el tratamiento de los fangos e incluyen: digestión anaerobia, digestión aerobia, compostaje, acondicionamiento químico y tratamiento físico. El propósito del tratamiento de los fangos es destruir los microbios patógenos y reducir el porcentaje de humedad.

La digestión anaerobia se realiza en un estanque cerrado llamado digestor y no requiere la presencia de oxígeno pues se realiza por medio de bacterias que se desarrollan en su ausencia. Para el óptimo crecimiento de estos microorganismos se requiere una temperatura de 35 °C. Las bacterias anaerobias degradan la materia orgánica presente en el agua servida, en una primera fase, a ácido propiónico, ácido acético y otros compuestos intermedios, para posteriormente dar como producto final metano (60 - 70 %), anhídrido carbónico (30%) y trazas de amoníaco, nitrógeno, anhídrido sulfuroso e hidrógeno. El metano y el anhídrido carbónico son inodoros; en cambio, el ácido propiónico tiene olor a queso rancio y el ácido acético tiene olor a vinagre.

La digestión aerobia se realiza en un estanque abierto y requiere la presencia de oxígeno y, por tanto, la inyección de aire u oxígeno. En este caso la digestión de la materia orgánica es efectuada por bacterias aerobias, que realizan su actividad a temperatura ambiente. El producto final de esta digestión es anhídrido carbónico y agua. No se produce metano. Este proceso bien efectuado no produce olores.

El compostaje es la mezcla del fango digerido aeróbicamente con madera o llantas trituradas, con el objetivo de disminuir su humedad para posteriormente ser dispuesto en un relleno sanitario.

El acondicionamiento químico se puede aplicar tanto a los fangos crudos como digeridos e incluye la aplicación de coagulantes tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y los polímeros, los que tienen como función ayudar a la sedimentación de las materias en suspensión y solución en el fango; la elutriación o lavado del fango, la cloración y la aplicación de floculante. El tratamiento físico incluye el tratamiento por calor y el congelamiento de los fangos.

Una vez concluida la etapa de digestión microbiana, ya sea aerobia o anaerobia, los fangos aún contienen mucha agua (alrededor de un 90%) por lo que se requiere deshidratarlos para su disposición final. Para ello se han diseñado dos métodos principales: secado por aire y secado mecánico.

Deshidratación de los fangos

Se han hecho diversas estructuras para el secado por aire de los fangos. Entre ellas están: lechos de arena, lechos asistidos de arena, lagunas de fangos, lechos adoquinados y eras de secado. Para el secado mecánico existen filtros banda, filtros prensa, filtros de vacío y centrifugas.

Los fangos deshidratados deben disponerse en una forma ambientalmente segura. Para ello, según el caso, pueden llevarse a rellenos sanitarios, ser depositados en terrenos agrícolas y no agrícolas o incinerados. La aplicación en terrenos agrícolas requiere que el fango no presente sustancias tóxicas para las plantas, animales y seres humanos. Lo habitual es que sí las contengan por lo que lo normal es que sean dispuestos en rellenos sanitarios o incinerados.

3.2. Fitorremediación Acuática

3.2.1. Definición

La fitorremediación es la depuración de las aguas residuales usando plantas vasculares, algas (ficorremediación) u hongos (micorremediación), y por extensión de ecosistemas que contienen estas plantas. Así pues, se trata de eliminar o controlar las diversas contaminaciones. La degradación de compuestos dañinos se acelera mediante la actividad de algunos microorganismos²⁵.

Tradicionalmente, las plantas vasculares acuáticas han sido consideradas como una plaga en sistemas enriquecidos con nutrientes. Su rápida proliferación puede dificultar la navegación y amenazar el balance de la biota en los ecosistemas acuáticos.

Sin embargo, en la actualidad se considera que estas plantas también pueden ser manejadas adecuadamente y volverse útiles, debido a su capacidad para remover y acumular diversos tipos de contaminantes. Además, su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía, forraje y fibra.

Los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de plantas se implementaron en los países europeos a principios de 1960, utilizando juncos o carrizos. Desde entonces, los sistemas de fitorremediación acuática se han perfeccionado y diversificado, y su aceptación y aplicación cada vez es mayor. La fitorremediación acuática tiene la ventaja de que se pueden remover, in situ, diferentes tipos de metales que se hallen con bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua.

²⁵ FUENTE: Pérez, I. (2015). *Biorremediación*. Recuperado de: <https://prezi.com/3ngfkg7jdncn/bioremediacion/>

3.2.2. Ventajas y Limitaciones

La aplicación de la fitorremediación para la depuración de aguas residuales tiene ventajas y al mismo tiempo sus limitaciones, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

a) Ventajas

- Es una tecnología sustentable
- Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ
- Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas
- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía
- Es poco perjudicial para el ambiente
- No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho
- Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable
- Evita la excavación y el tráfico pesado
- Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos
- Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales)

b) Limitaciones

- Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos)
- Es dependiente de las estaciones
- El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental
- Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes)
- Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión
- No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras
- La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes
- Se requieren áreas relativamente grandes
- Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)

3.2.3. Sistemas de Fitorremediación Acuática

a) Humedales construidos

Se definen como un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y subemergente, animales y agua que simula los humedales naturales, diseñado y hecho por el hombre para su beneficio.

b) Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes

Pueden ser estanques semiconstruidos o naturales, donde se mantienen plantas flotantes para tratar aguas residuales.

c) Sistema de tratamiento integral

Es una combinación de los dos sistemas anteriores.

d) Sistema de rizofiltración

Se basa exclusivamente en hacer crecer, en cultivos hidropónicos, raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas.

Se ha demostrado que estos sistemas pueden remover eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, elementos radiactivos, fluoruros, bacterias y virus, de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales, incluyendo las industrias: lechera, de pulpa y papel, textil, azucarera, de curtiduría, de destilería, aceitera, de galvanizado y metalurgia.

3.2.4. Tipos de Plantas Acuáticas

Con base en sus formas de vida, las plantas utilizadas en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos:

a) Emergentes

La raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta. Ejemplos: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagitaria latifolia*) y tule (*Thypha dominguensis*).

b) Flotantes

- **Plantas de libre flotación (no fijas):** sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia minima*).
- **Plantas de hoja flotante (fijas):** tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos. Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*).

c) Sumergidas

Se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua. Ejemplos: bejuquillo (*Cerathophyllum demersum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

3.2.5. Criterios de Selección de Plantas para la Fitorremediación

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las plantas, su estacionalidad y el tipo de contaminante a remover. Por lo mismo, para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características²⁶:

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

3.2.6. Funciones de las Plantas para la Fitorremediación Acuática

En general, los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes de aguas residuales son de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas, de procesos de bioabsorción).

Uno de los principales procesos que ocurren en el tratamiento de aguas residuales, es la degradación de la materia orgánica que llevan a cabo los microorganismos que viven sobre y alrededor de las raíces de las plantas. Los productos de degradación son absorbidos por las plantas junto con nitrógeno, fósforo y otros minerales. A su vez, los microorganismos usan como fuente

²⁶ FUENTE: Nuñez, R. (2004). *Fitorremediación: Fundamentos y Aplicaciones*. Recuperado de: <http://documents.mx/documents/fitorremediacion-55c09181c038f.html>

alimenticia parte o todos los metabolitos desechados por las plantas a través de su raíz. Otro fenómeno importante es el relacionado con la atracción electrostática entre las cargas eléctricas de las raíces de las plantas con las cargas opuestas de partículas coloidales suspendidas, las cuales se adhieren a la superficie de la raíz y posteriormente son absorbidas y asimiladas por las plantas y los microorganismos. Además, las plantas tienen la capacidad de transferir oxígeno desde sus partes superiores hasta su raíz, produciendo una zona aeróbica en sus alrededores que favorece los distintos procesos que ocurren durante el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Las raíces de las plantas sirven primeramente como sustrato para la comunidad microbiana, cuya actividad reduce significativamente el contenido de sólidos suspendidos, los niveles de nitrógeno y el consumo de oxígeno. Posteriormente, las propias plantas, a través de sus actividades metabólicas, se encargan de asimilar, transformar y acumular los diferentes tipos de contaminantes.

3.3. Especie *Eichhornia Crassipes*

3.3.1. Taxonomía

La especie *Eichhornia crassipes* se encuentra dentro de la siguiente clasificación:

Cuadro 3.1. Taxonomía de la Especie *Eichhornia crassipes*

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Pontederiaceae
Género	Eichhornia
Especie	Crassipes

3.3.2. Descripción

La especie *Eichhornia crassipes*, llamado comúnmente camalote o jacinto de agua común, es una planta acuática de la familia de las Pontederiaceae. Es originaria de las aguas dulces de las regiones cálidas de América del Sur, en las cuencas Amazónica, y del Plata. Es usada como planta medicinal o decorativa, y por fuera de su nicho original se considera especie invasora.

Tallo vegetativo sumamente corto; hojas en rosetas, ascendentes a extendidas; pecíolos cortos, hinchados (bulbosos), con tejido aerenquimatoso; con dimorfismo foliar al crecer agrupadas: hojas puramente ascendentes y pecíolos elongados y menos hinchados; láminas de 2 a 16 cm. Inflorescencia: espiga; flores azules a celestes, y una mancha amarilla en el lóbulo superior del perianto; fruto: cápsula de 1,5 cm.

Puede duplicar su tamaño en diez días, y durante ocho meses de normal crecimiento, una sola planta es capaz de reproducir 70.000 plantas hijas²⁷, que pueden llegar a medir entre 0,5 a 1,5 metros desde la parte superior hasta la raíz.

Figura 3.2. Especie *Eichhornia crassipes*



Además de salvaje, la especie *Eichhornia crassipes* se cultiva en jardines de agua y en fuentes ; es la única especie de su género estrictamente flotante. Está incluido en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

²⁷ FUENTE: Romero, J. (2002). *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño*, Escuela Colombiana de Ingeniería.

3.3.3. Composición Química

El componente principal de la planta es el agua entre 93 y 95% de la masa total, este va a depender del medio donde crezca.

Cuadro 3.2. Composición de la Especie *Eichhornia crassipes*²⁸

Constituyente	% de masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína Cruda	18.1	9.7 - 23.4
Grasa	1.9	1.6 - 2.2
Fibra	18.6	17.1 - 19.5
Ceniza	16.6	11.1 - 20.4
Carbohidrato	44.8	36.9 - 51.6
NTK	2.9	1.6 - 3.7
Fósforo	0.6	0.3 - 0.9

3.3.4. Hábitat

Habita en cuerpos de agua dulce como los son: ríos, lagos, charcas y embalses de los trópicos y subtrópicos localizados a latitudes no mayores de 40°N y 45°S. Temperaturas menores de 0°C afectan su crecimiento al igual que alta salinidad. Sin embargo, cuerpos de agua eutrofizados que contienen niveles altos de nitrógeno, fosforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento ya que puede anclarse y enraizar en suelos saturados de agua por un corto periodo de tiempo.

²⁸ FUENTE: Romero, J. (2002). *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño*, Escuela Colombiana de Ingeniería.

3.3.5. Origen y Distribución Geográfica

El área de origen de la especie *Eichhornia Crassipes* es Sudamérica, sin embargo se han encontrado especímenes en Estados Unidos, México, Centroamérica, Las Antillas y partes más cálidas del hemisferio occidental; los trópicos del Viejo Mundo.

3.3.6. Reproducción

Su reproducción es sexual y asexual. Se reproducen por propagación vegetativa, las semillas suelen ser una importante fuente de rebrote una vez que son eliminadas las plantas adultas.

3.3.7. Parámetros de Crecimiento

Su crecimiento va a depender del medio donde se desarrolle. Cuando hay escasez de elementos fertilizantes se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso.

A continuación se citan parámetros de crecimiento²⁹:

- Para un óptimo crecimiento la temperatura debe estar entre 25 a 30 °C, cesando a los 10 °C y produciendo la muerte, por lo que en inviernos fríos hay que protegerlas de las heladas.

²⁹ FUENTE: Jaramillo, M. y Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.* (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

- Requieren iluminación intensa o estar en semisombra.
- Dada que la relación nitrógeno/fósforo en los tejidos de la especie *Eichhornia crassipes* es mayor a la que se encuentra en el agua, el nitrógeno se agotara antes que el fósforo, por lo que sería necesaria una fertilización suplementaria con N (nitrógeno) para lograr una eliminación de P (fósforo).
- La carga orgánica expresada en términos de DBO5 puede variar entre 1 y 30 ppm al día (10 y 300 Kg/ha día).
- Necesita un pH que se sitúe entre 6.5 - 7.5.
- Requiere una dureza media alrededor de 12 - 18 DH.
- El crecimiento de la especie *Eichhornia crassipes* es favorecido por el agua rica en nutrientes, en especial el nitrógeno, fósforo y potasio. Además de estos elementos toma, calcio, magnesio, azufre, hierro, aluminio, boro, cobre, molibdeno y zinc.

3.3.8. Importancia

Es una planta considerada plaga; sin embargo, podría aprovecharse como fitorremediador. La *Eichhornia crassipes* es una de las especies más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación. Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Posee un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de la planta. En general, estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como cadmio, mercurio y arsénico específicamente). El mecanismo de cómo actúa es a través de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces

CAPITULO IV

EVALUACIÓN PRELIMINAR Y ADECUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Evaluación de Resistencia de la Especie *Eichhornia crassipes*

La primera fase de la evaluación consistió en determinar si la especie seleccionada para el sistema de tratamiento por fitorremediación puede desarrollarse en las condiciones presentadas en la PTAR El Indio.

Para ello se procedió a recolectar los especímenes de su hábitat natural para dicha evaluación. El hábitat de la especie *Eichhornia crassipes* se ubica en el río Chira, el cual debido a la alta de eutrofización existente a causa de que las aguas residuales de la ciudad de Sullana se descargan en el mismo sin previo tratamiento ha generado que la población de la especie se incremente de manera considerable.

Figura 4.1. Hábitat de la Especie *Eichhornia crassipes*



La zona donde se realizó la recolección de los especímenes fue en la orilla del río Chira situadas por tierras de cultivo de tallo medio y alto que utilizan estas aguas para su irrigación. Durante la Inspección se observaron las áreas donde se incineran los especímenes extraídos durante las actividades de limpieza del río Chira ejecutadas por la municipalidad provincial de la ciudad de Sullana.

Figura 4.2. Área de Incineración de los Especímenes de *Eichhornia crassipes*



En total se recolectaron del río Chira 20 especímenes adultos, de los cuales serían utilizados el 50% a causa de que durante el periodo de transporte de a la ciudad de Piura, aproximadamente la mitad de estos sobrevivió al traslado.

Figura 4.3. Recolección de Especímenes de *Eichhornia crassipes*



Posteriormente, se realizó la recolección de las aguas residuales de la PTAR El Indio la cual se encuentra en la zona sur-este de la ciudad de Piura, cercano al asentamiento humano El Indio, distrito de Castilla y cuenta con 4 lagunas facultativas.

Figura 4.4. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio



Las aguas residuales para la fase de evaluación fueron recolectadas de la lagunas facultativas secundarias a la altura de la descarga de las mismas, en total se trasladaron 80 litros de agua residual aproximadamente.

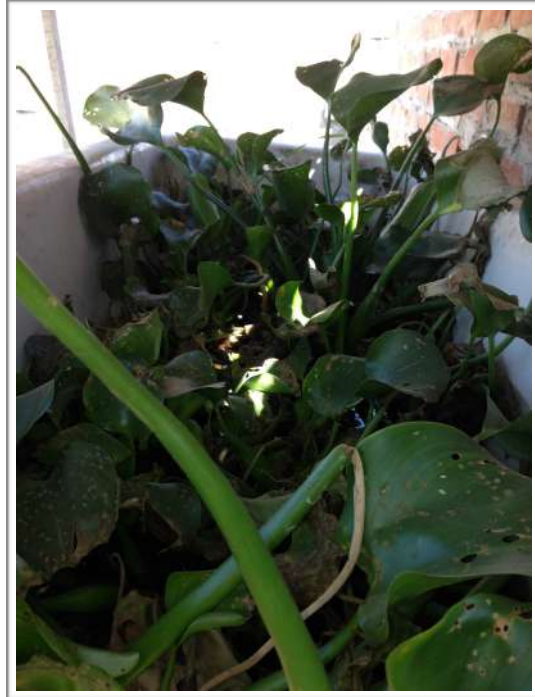
Para la evaluación de la resistencia de los especímenes se utilizó una bañera de 80 litros de volumen. El tiempo total de evaluación de los especímenes fue de 1 mes, los cuales se dividen en 4 evaluaciones semanales.

Cuadro 4.1. Observaciones Registradas Durante la Fase de Evaluación

Tiempo	Observaciones
01 Semana	No hubo cambios importantes con respecto al día de instalación, se constató que la humedad de las hojas se mantenía.
02 Semana	Algunas hojas, presentaban ciertas decoloraciones en las mimas, estas se situaban en los bordes de la bañera.
03 Semana	Se observo la presencia de pequeños organismos en el agua residual, aproximadamente el 40% de esta agua se había evaporado empezando a quedar partes de las raíces al aire.
04 Semana	Aproximadamente el 55% del agua recolectada se había evaporado, dejando al aire libre la mitad de las raíces de las plantas esto producía que el 50 % de las plantas se marchitaran casi por completo, sin embargo a estas altura se observo pequeñas germinaciones.

Al término de la fase de evaluación de la resistencia de la especie *Eichhornia crassipes* se concluyó pueden desarrollarse en las aguas residuales de la PTAR El Indio debido a que se observó un crecimiento natural en los especímenes evaluados, además notó en la ultima semana que la especie pudo reproducirse en este ambiente. Una vez concluido con esta fase se procedió a establecer una linea base de la PTAR El indio y de esta manera tener un marco referencial para la ejecución del proyecto.

Figura 4.5. Evaluación de la Resistencia de la Especie *Eichhornia crassipes*



4.2. Estudio de Línea Base de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio

Con la finalidad de establecer un diagnóstico situacional de la PTAR El Indio se desarrolló un estudio de línea base para determinar el estado operacional de la PTAR antes de la ejecución del proyecto y de esta manera tener un marco referencial que sirvió para la evaluación de los resultados obtenidos posteriormente con el sistema de tratamiento por fitorremediación.

4.2.1. Ubicación Geografica

La PTAR El Indio se localiza en la zona sur-este de la ciudad de Piura, cercano al asentamiento humano El Indio, distrito de Castilla, consta de 02 construcciones diferentes, una recientemente construida que es de mayor tamaño denominada Cuevín y se encuentra en una cota superior respecto a la antigua planta (El Indio) siendo esta ultima el área donde se ejecutó la evaluación del sistema de tratamiento por Fitorremediación.

Figura 4.6. Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio³⁰



³⁰ FUENTE: Google (2015). Foto de satélite de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio, Castilla. Consulta: 30 de Julio 2015, <https://www.google.es/maps>

4.2.2. Descripción del Sistema de Tratamiento

a) Captación

Esta unidad recibe las aguas residuales domesticas provenientes de la cámara de bombeo El indio. Esta planta ha sido diseñada para realizar el tratamiento de un caudal de 20 l/s de aguas residuales. Las estructuras hidráulicas de ingreso y reparto de caudales de las lagunas rehabilitadas se diseñaron para un caudal máximo de 64 l/s. El flujo proviene de la cámara de bombeo El Indio, llega a una caja de concreto antes de ingresar al sistema lagunar, continuando su trayectoria por un canal abierto de corta longitud (Medidor Parshall). El desagüe llega a 2 cajas centrales y de allí se distribuye a los ingresos laterales de las lagunas primarias.

b) Medidor Parshall

La planta cuenta con un medidor Parshall para determinar el flujo de agua residual que ingresa para su tratamiento. El flujo se distribuye a dos cajas al ingreso de cada laguna primaria.

c) Lagunas Facultativas Primarias

Está conformado por dos lagunas de 145 m de largo por 90 m de ancho cada una, con una profundidad de 2.5 m y taludes de 2 m inclinados. Cada laguna tiene tres estructuras de ingreso y tres estructuras de salida, estas últimas se interconectan con las lagunas facultativas de tratamiento secundario. Los taludes son en tierra con grava.

d) Lagunas Facultativas Secundarias

Conformado por dos lagunas de 145 m de largo por 80 m de ancho, una profundidad de 2 m y un talud de 2 m. Cada laguna tiene tres estructuras de ingreso y tres estructuras de salida interconectadas en una sola descarga. Los taludes son en tierra con grava.

e) Descarga

Las descargas de las lagunas secundarias son enviadas a un buzón desde cual se distribuyen hacia dos canales de 200 m de longitud cada uno para su uso de riego.

Figura 4.7. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio

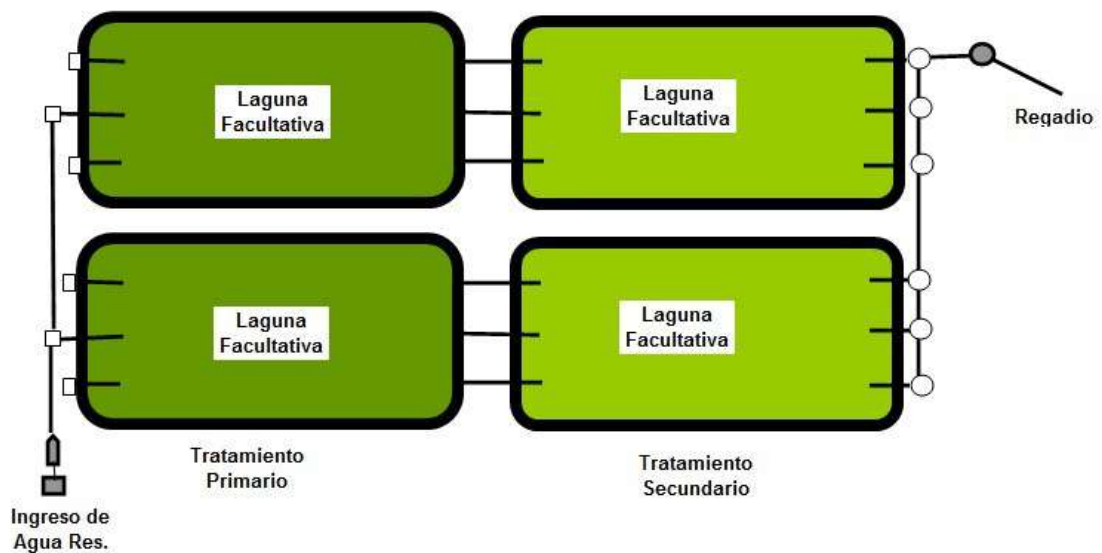


Figura 4.8. Vista de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio³¹



4.2.3. Situación Actual del Sistema de Tratamiento

a) Captación y Medidor Parshall

- De acuerdo a las visitas de campo realizadas a la zona se observó que el caudal de operación promedio de la planta de tratamiento es de 81.6 L/s.
- Se determinó también que el medidor Parshall se encuentra inoperativo debido a la acumulación de sólidos.
- Se observó existencia de sólidos sedimentados, así como sólidos suspendidos en el tramo antes del ingreso a las lagunas primarias.

³¹ FUENTE: Google (2015). Foto de satélite de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio, Castilla. Consulta: 30 de Julio 2015, <https://www.google.es/maps>

Figura 4.9. Estructura de de Captación



b) Lagunas Facultativas Primarias

- Se halló la presencia de sustancias en suspensión (algas, sólidos y grasas), estas al no tener un sistema de retención son descargadas a las lagunas secundarias, disminuyendo la eficiencia del proceso de tratamiento.
- Se percibió la acumulación de sólidos sedimentados, gran parte en la zona de ingreso a la laguna.

Figura 4.10. Lagunas Facultativas Primarias



c) Lagunas Facultativas Secundarias

- Se halló la presencia de sustancias en suspensión (algas, sólidos y grasas), estas al no tener un sistema de retención son depositados en los canales de descarga.
- Se percibió la acumulación de sólidos sedimentados, gran parte en la zona de ingreso a la laguna.

Figura 4.11. Lagunas Facultativas Secundarias



d) Descarga

- Se observó la ejecución de trabajos de redireccionamiento de las descargas de la PTAR El Indio y el mantenimiento de los mismos.

Figura 4.12. Buzón y Canal de Descarga



4.2.4. Análisis Físico - Químicos y Microbiológicos

Las muestras de afluente fueron tomadas en el canal de ingreso antes del vertedero suto (Coordenadas UTM: N 9421111 / E 544280), inicialmente se realizó la medición de la velocidad de flujo mediante el uso de un correntómetro y el área por dónde circula este flujo para obtener el caudal de ingreso utilizando la siguiente formula:

$$\text{Caudal} = \text{Velocidad de Corriente} \times \text{Área de Flujo}$$

Además también se realizó in-situ las mediciones del potencial de hidrógeno y la Temperatura utilizando un potenciometro y un termómetro respectivamente. Finalmente se tomaron las muestras de aguas residuales a analizar según los parámetros establecidos en el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA), los cuales son aceites y grasas, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos totales suspendidos.

Sin embargo por motivos de la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación se realizaron además los análisis de carbonatos, conductividad, nitratos y fosfatos.

Figura 4.13. Monitoreo de Línea Base del Afluyente



Cuadro 4.2. Análisis de Línea Base del Afluyente

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
Coliformes Termotolerantes (N) - SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	23000000	NMP/100 mL
Química		
Caudal en Agua Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua OMA/MVCS	81.6	L/s
Aceites y Grasas en Agua EPA Method 1664 A-1999	21.0	mg/L
Carbonatos en Agua SMEWW Part 4500 CO ₂ - D	0.5	mg/L
Conductividad en Agua EPA Method 120.1 Revised March 1983	1774.0	
DBO ₅ en Agua EPA Method 405.1 Revised March 1983	135.0	mg/L
DQO en Agua EPA Method 410.1 Revised March 1983	279.0	mg/L
Fosfato en Agua EPA Method 365.3. Revised March 1983	17.1	mg/L
N-Nitrato en Agua EPA Method 352.1 Revised March 1983	0.3	mg/L

Análisis	Resultado	Unidad
Sólidos Totales en Suspensión en Agua SMEWW Part 2540-D, 22d Ed 2012	90.0	mg/L
Temperatura en Agua EPA Method 170.1 Revised March 1983	27.5	°C
pH en Agua EPA Method 150.1 Revised March 1983	7.6	

Así mismo los análisis de las descargas se realizaron en el buzón de salida, lugar desde cual se distribuyen hacia dos canales de descarga (Coordenadas UTM: N 9420780 / E 544247), en este punto no se realizó la medición de caudal debido a que la infraestructura no lo permite, sin embargo al igual que en el monitoreo de los afluentes se realizaron las mediciones in-situ del potencial hidrógeno y la temperatura así como también se tomaron las muestras de los parámetros mencionados anteriormente para su posterior análisis. Estos resultados fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente.

Figura 4.14. Monitoreo de Línea Base de las Descargas



Según los resultados de los análisis realizados a las descargas de la PTAR El Indio el día 01 de Julio del año 2015, los coliformes termotolerantes presentes tienen una concentración de 790 000 NMP/100 mL lo cual indica que excedían el límite máximo permisible de 10 000 NMP/100 mL, de igual manera la

demanda química de oxígeno (246 mg/L) no cumplía con las concentraciones establecidas por la normativa ambiental (200 mg/L).

Cuadro 4.3. Análisis de Línea Base de las Descargas

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
Coliformes Termotolerantes (N) - SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	790000	NMP/100 mL
Química		
Aceites y Grasas en Agua EPA Method 1664 A-1999	11.0	mg/L
Carbonatos en Agua SMEWW Part 4500 CO ₂ - D	0.5	mg/L
Conductividad en Agua EPA Method 120.1 Revised March 1983	1662.0	
DBO ₅ en Agua EPA Method 405.1 Revised March 1983	65.0	mg/L
DQO en Agua EPA Method 410.1 Revised March 1983	246.0	mg/L
Fosfato en Agua EPA Method 365.3. Revised March 1983	9.0	mg/L
N-Nitrato en Agua EPA Method 352.1 Revised March 1983	0.4	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua SMEWW Part 2540-D, 22d Ed 2012	71.0	mg/L
Temperatura en Agua EPA Method 170.1 Revised March 1983	24.4	°C
pH en Agua EPA Method 150.1 Revised March 1983	7.5	

4.3. Limpieza de Lagunas Facultativas Secundarias

Debido a que las lagunas facultativas secundarias de la PTAR El Indio no se encuentran impermeabilizadas, los taludes perimetrales de las mismas presentaban una alta concentración de maleza siendo esto un inconveniente para la instalación de las mallas de contención de especímenes para la ejecución del proyecto de fitorremediación.

Como medida para solucionar este problema se realizó una campaña de limpieza, la cual consistió en el desbroce de la maleza y con ayuda de un cargador frontal se trasladaron los residuos hacia un área de disposición final para su posterior compostaje permitiendo la reforestación de un área de la PTAR El Indio con 60 plantones de árboles ficus.

Figura 4.15. Campaña de Limpieza



Figura 4.16. Reforestación con Plantones de Ficus



La campaña de limpieza se realizó el día 17 de junio del año 2015 por un periodo de 6 horas contando con el apoyo del personal de la EPS Grau s.a. Además se delimitó el perímetro donde se realizaría la instalación de las mallas de contención para el proyecto.

4.4. Instalación de Mallas de Contención

Para sostener las mallas se fabricaron 8 estacas de metal de 3 m de largo y 3.81 cm de diámetro. Las mallas utilizadas estaban fabricadas de polietileno de alta densidad cuyas dimensiones originales fueron de 45 m de largo por 1.5 m de ancho, para cubrir el ancho de las lagunas se unieron dos rollos obteniendo una malla de 90 m de largo y 1.5 m de ancho, siendo necesarias para el proyecto 4 unidades de esta última. Además se adquirieron 28 boyas de pesca de 30 cm de diámetro y 20 cm de ancho que se ubicaron en las mallas con una distribución de 10 m, cada una de las mallas contenía siete boyas.

Figura 4.17. Instalación de Boyas en las Mallas



Se fijaron las estacas de metal en los taludes de las lagunas a una profundidad de 1 m, en total se instalaron 4 estacas en cada una de las 2 lagunas para sostener las 4 mallas. Las mallas fueron instaladas en un área de 1 600 m² (área asignada por la EPS Grau s.a. para la ejecución del proyecto) al final de cada una de las lagunas lo que permitió la retención de los especímenes, dos mallas se situaron a 20 m de la descarga de las lagunas y las otras dos al final de las mismas para evitar que los especímenes se precipiten hacia los canales de descarga de la PTAR El Indio.

Figura 4.18. Instalación de Mallas de Contención



La instalación de la malla en la primera laguna fue realizada el día 07 de julio del año 2015 y el día 10 de julio se realizó la implementación de la segunda laguna con el apoyo del personal de la EPS Grau s.a.

4.5. Recolección y Transporte de Especímenes

Se realizó el reconocimiento del área de muestreo para identificar una zona de libre acceso para la recolección de la especie a evaluar definiendo así la zona ubicada a 92 m del antiguo puente de la ciudad de Sultana (4°53'25.1"S 80°41'41.6"W).

Figura 4.19. Zona de Recolección de Especímenes³²



Para recolección de los especímenes se utilizó una red fabricada con una malla de pesca y mango de madera con una longitud de 3 m de largo, también se utilizó un rastrillo de 8 m de largo fabricado con caña de guayaquil permitiendo arrastrar los especímenes que se encontraban alejados de la orilla, estas herramientas se fabricaron como medida de seguridad debido a que la profundidad en la orilla es de más de 2 metros lo que imposibilitaba el ingreso al río.

³² FUENTE: Google (2015). Foto de satélite de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Indio, Castilla. Consulta: 13 de Noviembre 2015, <https://www.google.es/maps>

Figura 4.20. Recolección de Especímenes

Para el transporte de los especímenes se utilizó un camión volquete marca Hino modelo FM500 2626 con una capacidad de carga de 18 Tn propiedad de la EPS Grau s.a., considerando que el tiempo de transporte fue de 1 hora y para conservar los especímenes se implementó en el camión una base de plástico impermeable de polietileno para evitar filtraciones y un toldo de polipropileno para minimizar la infiltración de luz solar, durante la recolección de los especímenes se fue adicionando agua de río.

Figura 4.21. Transporte de Especímenes

Antes de recolectar los especímenes se calculó cuantas especies había en un m² de agua en el río Chira, observándose aproximadamente 5 especies por m², para determinar la cantidad de especímenes necesarias para realizar el estudio se considero la siguiente metodología³³:

Nº Total de especímenes = densidad superficial x área de estudio

Nº Total de especímenes = 5 unid./m² x 1 600 m²

Nº Total de especímenes = 7 500 unidades por laguna

Debido a que el proyecto se realizó a finales de las estaciones otoño y primavera, época en la cual la tasa de reproducción de la especie *Eichhornia crassipes* es alta llegando a tener una tasa de crecimiento exponencial del 100% mensual, no fue necesario realizar la recolección total de los 15 000 especímenes contribuyendo a la disminución de los costos del presupuesto.

Se recolectó una población inicial de 2 000 especímenes que se repartieron equitativamente en ambas lagunas por lo que en un periodo de tres meses y con la tasa de crecimiento poblacional anteriormente mencionada se obtendrían los especímenes necesarios para cubrir el área de estudio.

Se programaron 4 viajes para la recolección y transporte de los especímenes de *Eichhornia crassipes* del río Chira durante los días 21, 22, 23 y 24 del mes de julio del año 2015 con el apoyo del personal de la EPS Grau.

³³ FUENTE: Fiallos L. (2011). *Innovación Biológica para la Depuración de Aguas Contaminadas en la Estación "El Peral" Emapa - Ambato* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/829/1/BQ9%20Ref.%203364.pdf>

Figura 4.22. Adición de Especímenes a las Lagunas



CAPITULO V

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POR FITORREMEDIACIÓN

5.1. Evaluación del Crecimiento y Reproducción de Especímenes

La evaluación del crecimiento de los especímenes en la PTAR el indio fue programada durante un periodo de 3 meses de agosto a octubre con un plan de seguimiento y control el cual consistía en 6 inspecciones de campo cada dos semanas. La población inicial fue de 2 000 plantas distribuidas equitativamente en ambas lagunas.

Durante la primera inspección de campo realizada el día viernes 14 de agosto del año 2015 se comprobó que los especímenes se lograron adaptar a las condiciones ambientales y a las concentraciones de contaminantes de las aguas residuales de las lagunas al observar la presencia de pequeños bulbos en los rizomas, también se observó que algunos especímenes tenían las hojas deterioradas por lo cual se inició una investigación para determinar el causante de este hecho.

Figura 5.1. Primera Inspección de Campo



En la segunda inspección de campo realizada el día viernes 28 de agosto del año 2015 se observó que la especie evaluada ocupaba una área mayor a la inicial, verificándose la reproducción de los especímenes por la presencia de plantas jóvenes. Como resultado de la investigación del deterioro de lirios acuáticos se pudo comprobar que la especie *Anas sp.* (patillo) era el responsable de la depredación, por lo que se empezó a tomar medidas de control de aves para mantener la densidad poblacional de los lirios acuáticos. Como medida de control de aves se procedió a la instalación de un espantapájaros.

Figura 5.2. Segunda Inspección de Campo



La tercera inspección de campo en la PTAR El Indio se realizó el día 11 de septiembre del año 2015, a pesar de que la medida de control de aves funcionó parcialmente se pudo observar la continuidad de la expansión de los especímenes, además se observó que la población de aves se habría incrementado en relación al primer día de evaluación. Se procedió a la contratación de tres operadores por parte de la EPS Grau s.a. con una jornada laboral de 6 días a la semana en turnos de 7 horas diarias para realizar el mantenimiento de la PTAR El Indio y del área de evaluación.

Figura 5.3. Tercera Inspección de Campo



Durante la cuarta inspección de campo realizada el día 25 de setiembre del año 2015 se observó que continuaba la expansión de los especímenes en evaluación, además se volvió a constatar el crecimiento de la población de aves. A pesar de la contratación de los operadores no se pudo controlar la depredación de los especímenes puesto que el horario laboral era de 7 horas al día siendo insuficiente para asegurar el desarrollo de los lirios acuáticos.

Figura 5.4. Cuarta Inspección de Campo



Debido al incremento poblacional de las aves locales y la continua depredación de los especímenes, se tomó la decisión de reducir el tiempo de evaluación establecido y proseguir con el monitoreo de las aguas residuales

tratadas con el sistema de fitorremediación. El día viernes 02 de octubre se realizó con el laboratorio acreditado Emvirolab NSF, el muestreo del afluente y la descarga de la PTAR El Indio con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de contaminantes presentes habiendo aplicado el sistema de tratamiento por fitorremediación y así poder realizar el respectivo análisis de resultados.

Figura 5.5. Monitoreo Final de Afluentes y Descargas



Cuadro 5.1. Crecimiento Poblacional de la Especie *Eichhornia crassipes*

	Fecha	Cantidad de Especímenes	Área de Expansión	
			m2	%
Inicio del Proyecto	24/07/2015	1000	213.33	13.33 %
Inspección N° 1	14/08/2015	950	202.67	12.67 %
Inspección N° 2	28/08/2015	1400	298.67	18.67 %
Inspección N° 3	11/09/2015	1900	405.33	25.33 %
Inspección N° 4	25/09/2015	2700	576.00	36 %
Fin del Proyecto	02/10/2015	2800	597.33	37.33 %

Culminada la fase de evaluación se procedió a la remoción de los especímenes, la cual se ejecutó en conjunto con la extracción profunda de los lodos presentes en las lagunas y se trasladaron hacia un relleno sanitario.

5.2. Análisis e Interpretación de Resultados

5.2.1. Análisis de Resultados

Al inicio de la ejecución del proyecto se realizó un muestreo y análisis de las aguas residuales de la PTAR El Indio como estudio de línea base tanto en el afluente como en la descarga, de igual manera al finalizar la fase de evaluación del proyecto se realizaron los análisis en el afluente y en la descarga con la finalidad de realizar una comparación de la calidad de las aguas residuales antes y después de aplicado el sistema de tratamiento por fitorremediación para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes, cabe mencionar que los análisis fueron realizados por un laboratorio acreditado por INDECOPI para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Resultados obtenidos

Los resultados de los análisis realizados por el laboratorio Envirolab NSF al momento de finalizar la ejecución del proyecto son los siguientes:

Cuadro 5.2. Análisis Finales del Afluyente

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
Coliformes Termotolerantes (N) - SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	33000000	NMP/100 mL
Química		
Caudal en Agua Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua OMA/MVCS	72.0	L/s
Aceites y Grasas en Agua EPA Method 1664 A-1999	12.0	mg/L
DBO5 en Agua EPA Method 405.1 Revised March 1983	210.0	mg/L
DQO en Agua EPA Method 410.1 Revised March 1983	556.0	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua SMEWW Part 2540-D, 22d Ed 2012	68.0	mg/L
Temperatura en Agua EPA Method 170.1 Revised March 1983	28.2	°C
pH en Agua EPA Method 150.1 Revised March 1983	7.6	

Cuadro 5.3. Análisis Finales de las Descargas

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
Coliformes Termotolerantes (N) - SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	490000	NMP/100 mL
Química		
Aceites y Grasas en Agua EPA Method 1664 A-1999	ND (< 5)	mg/L
DBO5 en Agua EPA Method 405.1 Revised March 1983	53.0	mg/L
DQO en Agua EPA Method 410.1 Revised March 1983	214.0	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua SMEWW Part 2540-D, 22d Ed 2012	58.0	mg/L
Temperatura en Agua EPA Method 170.1 Revised March 1983	24.7	°C
pH en Agua EPA Method 150.1 Revised March 1983	7.7	

a) Temperatura (Anexo B, Gráfico B-1)

Para un óptimo crecimiento de la especie *Eichhornia crassipes* la temperatura debe estar entre 25 a 30 °C ,por lo cual se realizó la medición de la temperatura al momento de la toma de muestras siendo las 09:45 a.m. registrándose un valor de 24.7 °C, a esta hora la temperatura ambiente es baja, sin embargo en horas de la tarde y en presencia del sol, la temperatura asciende con lo cual disminuye la solubilidad de gases y aumenta en general la de sales. Además aumenta la velocidad de las reacciones metabólicas de los microorganismos presentes en las aguas residuales, acelerando la putrefacción, por lo cual altas temperaturas pueden ser un factor perjudicial para el desarrollo de los vegetales.

No se observó mayor variación en los grados de temperatura, registrándose valores no mayores a 25 °C en las descargas lo cual es beneficioso pues según la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM) se considera que la temperatura del agua es un factor contaminante a temperaturas mayores a 35 °C.

b) Potencial Hidrógeno (Anexo B, Gráfico B-2)

El valor de pH en aguas residuales debe estar entre 6.5 y 8.5, según la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, valores menores pueden dar como resultado CO₂ libre. Durante los monitoreos, los valores de potencial hidrogeno estuvieron dentro del rango permisible y no se observó mucha diferencia entre los valores de línea base y el obtenido con el sistema de tratamiento por fitorremediación.

Cabe mencionar que valores de potencial hidrogeno mayores a 9.5 o menores a 4.0 son factores que limitan el desarrollo de las bacterias que intervienen en la degradación de ciertos contaminantes presentes en las aguas residuales. Así mismo el pH bajo incrementa la posibilidad de crecimiento de organismos filamentosos, además disminuye la respiración bacteriana al producirse dióxido de carbono.

c) Sólidos Totales en Suspensión (Anexo B, Gráfico B-3)

Los valores de sólidos totales en suspensión si bien muestran un descenso con el sistema de tratamiento por fitorremediación, cabe anotar que los valores de sólidos suspendidos que ingresan al momento del muestreo presenta índices menores al obtenido en los análisis de línea base, por lo que no se observa una eficiente remoción de sólidos suspendidos.

Así mismo este parámetro junto con los sólidos disueltos totales se encuentran directamente relacionados con la conductividad y temperatura, por lo que el clima caluroso de la región de Piura también afecta la baja eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

d) Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Anexo B, Gráfico B-4)

Comparado con el límite máximo permisible (200 mg/L) según la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, las descargas de la PTAR El Indio no cumple esta norma desde el inicio de ejecución del proyecto.

Analizando los valores finales, se puede afirmar que el sistema de tratamiento por fitorremediación utilizando la especie *Eichhornia crassipes* reduce de manera importante los índices de DQO en las aguas residuales domésticas, disminuyendo de 246 mg/L en el estudio de línea base a 214 mg/L reduciendo así la brecha que existe entre el límite máximo permisible (200 mg/L) y las descargas de la PTAR El Indio. Durante el análisis de línea base se obtuvo un valor bastante reducido de DQO en el ingreso de la planta (379 mg/L) en comparación al obtenido al final de la evaluación (556 mg/L).

La demanda química de oxígeno es uno de los principales indicadores de la salud de un cuerpo de agua natural. La presencia de oxígeno denota condiciones aeróbicas en el líquido y la ausencia de olores desagradables, la DQO es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, entonces a menores valores de DQO, menores condiciones aeróbicas y por lo tanto menor olor desagradable³⁴.

e) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (Anexo B, Gráfico B-5)

A diferencia a la DQO los valores de DBO₅ son aceptables ya que se encuentran por debajo del límite máximo permisible (100 mg/L), valores que fueron disminuyendo durante el transcurso del proyecto, ya que en el estudio de línea base se obtuvo un valor de DBO₅ en la descarga de 65 mg/L y con el sistema por fitorremediación se obtuvo un valor de 53 mg/L, sin embargo al igual que las mediciones de DQO los valores de DBO₅ que ingresaron a la planta de tratamiento durante los análisis de línea base fueron bastante menores a la obtenida al final de la evaluación, esto indica que existe menor cantidad de microorganismos que utilizan oxígeno disuelto para la oxidación

³⁴ FUENTE: Fiallos L. (2011). *Innovación Biológica para la Depuración de Aguas Contaminadas en la Estación "El Peral" Emapa - Ambato* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/829/1/BQ9%20Ref.%203364.pdf>

aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua, con esto se comprueba que el tratamiento de depuración de agua es eficaz ya que a mayor DBO₅, mayor contaminación.

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. La DBO₅ es el parámetro más usado para medir la calidad de las aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras³⁵.

f) Índice de Coliformes Termotolerantes (Anexo B, Gráfico B-6)

Se presento un alto número de bacterias fecales siendo este uno de los parámetros más importantes en vista de que son causantes de varios impactos ambientales negativos.

Debido a que se trata en su mayoría de aguas residuales de uso domestico, es decir de agua de inodoros, cocinas, lavanderías entre otras actividades domesticas, es lógico pensar que el contenido bacteriano es alto, encontrándose un índice de coliformes termotolerantes inicial de 23 000 000 NMP/100 mL, valor que es demasiado elevado en en relación al límite máximo permisible que es de 10 000 NMP/100 mL.

³⁵ FUENTE: Fiallos L. (2011). *Innovación Biológica para la Depuración de Aguas Contaminadas en la Estación "El Peral" Emapa - Ambato* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/829/1/BQ9%20Ref.%203364.pdf>

Las descargas de la PTAR El Indio no cumplían con los índices de coliformes termotolerantes establecidos en la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, ya que durante el estudio de línea base se obtuvo un resultado de 790 000 NMP/100 mL, sin embargo al final de la fase de evaluación del proyecto se pudo comprobar una disminución de los índices de coliformes obteniendo un valor de 490 000 NMP/100 mL por lo que se puede afirmar que si bien no se logro cumplir con el límite máximo permisible la adición del sistema de fitorremediación permitió la remoción de coliformes termotolerantes. Así mismo durante el análisis de línea base se obtuvo un valor bastante reducido de coliformes en el ingreso de la planta en comparación al obtenido al final del la evaluación.

g) Aceites y Grasas (Anexo B, Gráfico B-7)

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad.

Según los datos obtenidos en la evaluación del proyecto los valores de aceites y grasas si bien muestran un descenso con el sistema de tratamiento por fitorremediación (< 5), cabe anotar que los valores de aceites y grasas que ingresan al momento del muestreo presenta índices menores al obtenido en los análisis de línea base, sin embargo se observa una remoción de aceites y grasas.

5.2.2. Eficiencia de Remoción del Sistema de Tratamiento por Fitorremediación

Para calcular las eficiencias de remoción del sistema de tratamiento por fitorremediación evaluado se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$E = (S_0 - S) / S_0 \times 100$$

La carga contaminante de entrada (S_0) menos la carga contaminante de salida (S) dividido entre la carga contaminante de entrada (S_0), por cien es igual al porcentaje de eficiencia de remoción del sistema.

Cuadro 5.3. Eficiencias de Remoción de Línea base

Parámetro	Unidad	Afluente	Descarga	% Remoción
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	23000000	790000	96.57 %
Aceites y Grasas	mg/L	21	11	47.62 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	135	65	51.85 %
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	379	246	35.09 %
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	90	71	21.11 %

Cuadro 5.4. Eficiencias de Remoción del Sistema por Fitorremediación

Parámetro	Unidad	Afluente	Descarga	% Remoción
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	33000000	490000	98.52 %
Aceites y Grasas	mg/L	12	5	58.33 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	210	53	74.76 %
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	556	214	61.51 %
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	68	58	14.71 %

5.2.3. Balance Hídrico

Para estimar el caudal de descarga de la PTAR El Indio se realizó un balance hídrico tomando en cuenta la siguiente formula:

$$Q_{in} + PP = Q_{out} + EV + I$$

Donde el caudal de ingreso (Q_{in}) mas la precipitación (PP) es igual al caudal de descarga (Q_{out}) mas la evaporación (EV) y la infiltración (I).

La determinación del caudal de ingreso (Q_{in}) se realizó durante el muestreo ejecutado por el laboratorio acreditado NSF Envirolab s.a. obteniéndose un valor de 72 L/s tomado en el canal de ingreso de la PTAR El Indio. Debido a que la ejecución del proyecto se realizo durante los meses de agosto y septiembre no se observo precipitación durante este periodo (PP) en el área de estudio por lo que el valor de este parámetro es de 0 mm³⁶. Así mismo teniendo en cuenta el tipo de suelo donde se desarrolló el estudio de investigación se obtiene un valor promedio de la capacidad de infiltración (I) de 1.36 mm/h.

³⁶ FUENTE: TuTiempo, "Datos Históricos Climatológicos Piura - Perú" [base de datos en línea], <http://www.tutiempo.net/clima/Piura/844010.htm>

Para la estimación de la evaporación (EV) se realizó un balance energético aplicando la ecuación de continuidad para el volumen de control (Chow, 1994)³⁷:

$$EV = R_n / (L_v * P_w)$$

Donde EV, es la evaporación o tasa de evaporación [m/seg]; R_n , es la energía térmica suministrada por el sol [W/m^2]; L_v , es el calor latente de vaporización, en este caso del agua [J/kg]; P_w , es la densidad del agua [kg/m^3]. Tanto la densidad del agua como su calor latente de vaporización dependen de la temperatura a la cual se encuentre esta, siendo de 24,7 °C en la PTAR El Indio según el muestreo realizado por el laboratorio acreditado NSF Envirolab s.a.

La energía térmica promedio suministrada por el sol es de 210 W/m^2 ³⁸, de acuerdo a la tabla de densidad del agua en función a la temperatura (Pérez 1997:75) tenemos que $P_w = 997.07 \text{ kg/m}^3$. La siguiente expresión ayuda a calcular el calor latente de vaporización en función de la temperatura del agua continuación (Chow, 1994):

$$L_v = 2500 - 2.36T$$

$$L_v = 2500 - 2.36(24.7^\circ\text{C})$$

$$L_v = 2441.7 \text{ KJ/Kg}$$

³⁸ FUENTE: SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), “*Atlas de Energía Solar del Perú*”, http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de_Radiacion_Solar.pdf

Por lo tanto tenemos:

$$EV = \frac{R_n}{L_v \cdot P_w}$$

$$EV = \frac{210}{2441.7 \times 10^3 \cdot 997.07}$$

$$EV = 8.63 \times 10^{-8} \frac{m}{seg}$$

Para determinar los caudales de Infiltración y de evaporación se utilizó el área total de las 4 lagunas que conforman la PTAR El Indio siendo esta de 49 300 m², por lo tanto se obtiene un caudal de evaporación de 4.25 L/s y un caudal de infiltración de 18.67 L/s.

Reemplazando los valores obtenidos en la formula del balance hídrico tenemos:

$$Q_{out} = Q_{in} + PP - EV - I$$

$$Q_{out} = 72 \text{ L/s} + 0 - 4.25 \text{ L/s} - 18.67 \text{ L/s}$$

$$Q_{out} = 49.08 \text{ L/s}$$

Por lo tanto y de acuerdo al resultado obtenido, se calcula una estimación de 49.08 L/s de caudal de descarga en la PTAR el Indio, la cual es derivada a un buzón y posteriormente a dos canaletas de cemento utilizados por los agricultores de la zona.

5.2.4. Interpretación de Resultados

Realizando un análisis global entre las descargas de las aguas residuales obtenidos en el diagnóstico de línea base y los análisis de las descargas obtenidas finalizado el periodo de evaluación se pudo comprobar que existe disminución de la carga de contaminantes, según los resultados de aceites y grasas, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes, en las aguas residuales que se sometieron al tratamiento por fitorremediación; a pesar de que en los índices de sólidos totales en suspensión se obtuvo un resultado adverso ya que la eficiencia de remoción de este parámetro se redujo un 6.4%.

Sin embargo los parámetros que más elevaron la eficiencia de remoción por el uso de tratamiento por fitorremediación fueron la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno con un aumento del 26.42% y 22.91% respectivamente, siendo estos los parámetros más importantes para determinar la contaminación de aguas. Así mismo las concentraciones de aceites y grasas se redujeron un 10.71% y el índice de coliformes termotolerantes un 1.95%, siendo este último parámetro el que más excede los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental.

CONCLUSIONES

- Habiéndose implementado el sistema de tratamiento por fitorremediación se comprobó la capacidad depuradora de la especie *Eichhornia crassipes* para la reducción de las concentraciones contaminantes presentes en las aguas residuales de la PTAR El Indio.
- La ejecución del estudio de línea base permitió conocer el funcionamiento y estado situacional de la PTAR El Indio aportando datos de la composición físico - química y microbiológica de las descargas, las cuales excedían los márgenes establecidos según la norma de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.
- El acondicionamiento del área de estudio posibilitó un adecuado manejo de la especie *Eichhornia crassipes* para la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación, considerando que los materiales empleados son de fácil adquisición y bajo presupuesto.
- De acuerdo a la investigación realizada se determinó que la eficiencia de remoción de la especie *Eichhornia crassipes* aumentó en mayor proporción en los parámetros de DQO (26.42 %) y DBO (22.91 %), así mismo se observó el incremento en la remoción de aceites y grasas (10.71 %) y de coliformes termotolerantes (1.95 %), sin embargo la remoción de sólidos totales en suspensión no fue efectiva.

- Según los resultados obtenidos en el proyecto de tratamiento por fitorremediación, los parámetros de coliformes termotolerantes (490 000 NMP/100mL) y la DQO (214 mg/L) exceden los límites máximos permisibles siendo estos 10 000 NMP/100mL y 200 mg/L respectivamente. Así mismo la DBO, sólidos totales suspendidos, temperatura y pH se encuentran por debajo de los LMP.
- El tratamiento de aguas residuales por fitorremediación es un sistema económico, que puede ser fácilmente implementado en diferentes plantas de tratamiento de la región.
- Al finalizar el proyecto de investigación se pudo comprobar el cumplimiento de la hipótesis planteada puesto que la calidad de las descargas de la PTAR El Indio aumentó al emplear un sistema de tratamiento por fitorremediación utilizando la especie *Eichhornia crassipes*.

RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación para determinar la capacidad fitorremediadora de la especie *Eichhornia crassipes* en periodos mas prolongados a los desarrollados en el presente estudio y bajo otras condiciones ambientales.
- Proteger los especímenes de *Eichhornia crassipes* con diversos sistemas de control de aves para evitar la depredación, permitiendo así un desarrollo optimo llegando a alcanzar una alta tasa de crecimiento poblacional.
- Al utilizar esta técnica se recomienda que se le un adecuado manejo a los especímenes ya que estos se pueden volver plagas debido a su rápida reproducción.
- Buscar alternativas para el manejo de estas especies vegetales, una vez terminado su ciclo de vida con la finalidad de evitar una contaminación ambiental con estos residuos sólidos.
- Investigar la capacidad fitorremediadora de la especie *Eichhornia crassipes* en otros parámetros no considerados en el presente estudio con el fin de mejorar la calidad de las aguas residuales para su reutilización.

- Buscar nuevas alternativas biotecnológicas que contribuyan a mejorar la calidad ambiental de las fuentes de aguas naturales y residuales para asegurar el desarrollo sostenible.
- Reutilizar las aguas tratadas por el proceso de fitorremediación solo en proyectos de forestación debido a que los parámetros de las descargas no cumplen con los estándares de calidad ambiental requeridos por la legislación nacional para otros usos tales como agrícola, doméstica, recreacional, etc.
- Realizar trabajos de investigación para determinar la causa específica que ocasiono la disminución de la eficiencia de remoción en los sólidos totales en suspensión.

BIBLIOGRAFIA

- Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Grau s.a. (2015). *Informe de análisis de la PTAR El Indio (02/03/15)*.
- Gobierno Regional de Piura. (2011). *Análisis de la Situación de Salud de Piura*. Recuperado de: http://www.dge.gob.pe/portal/Asis/indreg/asis_piura.pdf.
- Ministerio del Agricultura. (2008). *Diagnostico de Problemas y Conflictos de la Gestión del Agua en la Cuenta Chira - Piura*. Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/media/406310/caratula%20diagnostico%20chira%20piura.pdf>.
- Nippon Koei Co. Ltd. (2008). Expediente Técnico: *Informe de Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de El Indio Lagunas Nuevas*. Mayo del 2008, Piura – Perú.
- Reyes, J. (2000). *Inundaciones y Drenaje Urbano - Perú*. Recuperado de http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/humedales/jorge-reyes_peru.pdf.
- España, J. (2006). *Estanques de Jacinto de agua [eichhornia crassipes] para tratamiento de residuos industriales*. Universidad del valle. Ingeniería química. Santiago de Cali. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanquesde-jacinto2.shtml> [consulta 27-10-09].

- Parsons - Cesel (2000). EIA Proyecto: *Refuerzos al Sistema de Distribución de Agua Potable para Piura - Castilla*.
- Noël Pallais Checa, PhD (2011). *Cinco Mitos Conceptuales del Agua en la Costa del Perú*. Recuperado de: <https://noelpallais.wordpress.com/tag/zapallal/>.
- Ministerio de Agricultura (1994). *Mapa Ecológico del Perú - Guía Explicativa*. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/bryanerj/gua-explicativa-del-mapa-ecologico-del-per-1995>.
- Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Grau s.a. (2010). Expediente Técnico del Proyecto: *Mejoramiento del Sistema de Evacuación de Aguas Servidas Tratadas de la Planta de Tratamiento El Indio - Castilla*.
- Jv (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007), “*Sistema de Resultados de Datos Censales*” [base de datos en línea], <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>.
- Ávila, J. y Castillo, D. (2000) *Jacinto de agua (Eichornia crassipes) alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola*, ESPOL, Guayaquil, Ecuador 2000. Recuperado de: www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/7216.pdf.
- Mengual, A. (2008). *Aguas Negras, Composición y Tratamientos*. Recuperado de: http://www.urbipedia.org/index.php?title=Aguas_negras.

- Fiallos L. (2011). *Innovación Biológica para la Depuración de Aguas Contaminadas en la Estación “El Peral” Emapa - Ambato* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/829/1/BQ9%20Ref.%203364.pdf>.
- Pérez, I. (2015). *Biorremediación*. Recuperado de: <https://prezi.com/3ngfkg7jdncn/bioremediacion/>.
- Nuñez, R. (2004). *Fitorremediación: Fundamentos y Aplicaciones*. Recuperado de: <http://documents.mx/documents/fitorremediacion-55c09181c038f.html>.
- Romero, J. (2002). *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño*, Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Política de Aguas (2005). *Manual en Fitodepuración, Actas Del Encuentro Internacional Sobre Fitodepuración, Tecnología Filtros De Macrofitas En Flotación*, Unión Europea.
- Tapia, C. (2009). *Ensayos De Descontaminación De Aguas Residuales, Mediante La Utilización De Plantas Acuáticas, En Sistema De Pantano* Universidad Técnica Particular De Loja, Ecuador.

ANEXOS

ANEXOS A

ANALISIS DE ÁGUAS RESIDUALES



Inassa
ENVIROLAB

NSF Envirolab

LABORATORIO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION
INDECOPI-SNA CON REGISTRO N° LE-011

INFORME FINAL



Registro N° LE-011

Dirección de Entrega:

Cecilia Oliva
Av. Luis Eguiguren con Av. Las
Casuarinas - Ex Málaga S/ N
Al costado de la SUNARP
Piura, Piura
Peru

Solicitante: C0197590

Entidad Prest.de Ss.de Saneam. Grau S.A.
Jr. Zelaya La Arena Nro. S.N.
Urb. Santa Ana Piura
Piura, Piura
Peru

Resultado	Completo	Fecha de Informe	2015-07-13
Procedencia	PTAR Afluente El Indio Rehabilitada		
Producto	Agua		
Tipo de Servicio	Análisis		
Informe de Ensayo N°	J-00177188		
Coordinador de Proyecto	Erika Wendy Campos Simón		

Gracias por utilizar los servicios de NSF Envirolab. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.

Informe Autorizado por

Enrique Quevedo Bacigalupo
Jefe de Laboratorio

Ing. Mellna Granados Chuco
Asistente de Jefatura de Laboratorio

Fecha de Emisión 2015-07-13

Tel: (511) 616-5400 Fax: (511) 616-5418 Email: envirolab@nsf.org Web: www.envirolabperu.com.pe

FI20150713131416

J-00177188

pág 1 de 3

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Envirolab. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Envirolab no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.



Información General

Matriz: Agua
Solicitud de Análisis: Cotización N° 23598 (Jul-027)
Muestreado por: NSF Envirolab
Procedencia: PTAR Afluente El Indio Rehabilitada
Plan de Muestreo: LM 2.3 - 03
Referencia: AA.HH. El Indio Distrito de Castilla - Piura

Identificación de Laboratorio: S-0001170760
Tipo de Muestra: Agua Residual
Identificación de Muestra: Afluente PTAR
Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2015-07-02
Fecha y hora de Muestreo: 2015-07-01 11:00
Descripción del Punto de Muestra: Ubicado en el canal Parshall a la entrada de la PTAR
Coordenadas UTM (Sistema WGS 84): 17M 544280 E / 9421111 N

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología			
# Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	2015-07-05		
Num. Coliformes Termotolerantes		23 000 000	NMP/100 mL
Química			
*Caudal en Agua. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua OMA/MVCS	2015-07-01		
Caudal.		81,61	L/s
Aceites y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999	2015-07-03		
Aceites y Grasas (1L)		21	mg/L
Carbonatos en Agua. SMEWW Part 4500 CO2 - D	2015-07-07		
Carbonatos		0,5	mg/L
Conductividad en Agua. EPA Method 120.1 Revised March 1983	2015-07-02		
Conductividad		1 774,0	uS/cm
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2015-07-07		
DBO5		135	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2015-07-06		
DQO		379	mg/L
Fosfato en Agua. EPA Method 365.3, March 1983	2015-07-02		
Fosfato		17,08	mg/L
N-Nitrato en Agua. EPA Method 352.1, Revised March 1983	2015-07-08		
N - Nitrato		0,32	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012	2015-07-07		
Sólidos Totales en Suspensión		90	mg/L
Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983	2015-07-01		
Temperatura		27,5	°C
pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983	2015-07-01		
pH		7,6	

Nota(s) del Informe Final:

Parámetros realizados en el muestreo: pH, Caudal y Temperatura.



Ensayos realizados por:

Ensayos realizados por:	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
→	NSF_LIMA_E	NSF Envirolab, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0135	#Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed. 2012
IQ0264	Aceites y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999
IQ0269	Carbonatos en Agua. SMEWW Part 4500 CO2 - D
IQ0286	DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983
IQ0287	DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983
IQ0297	Fosfato en Agua. EPA Method 365.3, March 1983
IQ0305	N-Nitrato en Agua. EPA Method 352.1, Revised March 1983
IQ0310	pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983
IQ0318	Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012
IQ0327	Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983
IQ0848	*Caudal en Agua. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua OMA/MVCS
IQ0971	Conductividad en Agua. EPA Method 120.1 Revised March 1983

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación.

Descripciones de ensayos precedidos por un "#" indican que los métodos han sido subcontratados.



Inassa
ENVIROLAB

NSF Envirolab

LABORATORIO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION
INDECOPI-SNA CON REGISTRO N° LE-011

INFORME FINAL



Registro N° LE-011

Dirección de Entrega:

Cecilia Oliva
Av. Luis Eguiguren con Av. Las
Casuarinas - Ex Málaga S/ N
Al costado de la SUNARP
Piura, Piura
Peru

Solicitante: C0197590

Entidad Prest.de Ss.de Saneam. Grau S.A.
Jr. Zelaya La Arena Nro. S.N.
Urb. Santa Ana Piura
Piura, Piura
Peru

Resultado Completo

Fecha de Informe 2015-07-13

Procedencia PTAR Efluente El Indio Rehabilitada

Producto Agua

Tipo de Servicio Análisis

Informe de Ensayo N° J-00179509

Coordinador de Proyecto Erika Wendy Campos Simón

Gracias por utilizar los servicios de NSF Envirolab. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.

Informe Autorizado por

Fecha de Emisión 2015-07-13

Enrique Quevedo Bacigalupo
Jefe de Laboratorio

Ing. Molina Granados Chuco
Asistente de Jefatura de Laboratorio

Tel: (511) 616-5400

Fax: (511) 616-5418

Email: envirolab@nsf.org

Web: www.envirolabperu.com.pe

FI20150713135918

J-00179509

pág 1 de 3

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Envirolab. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Envirolab no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.



Información General

Matriz: Agua
Solicitud de Análisis: Cotización N° 23598 (Jun-028)
Muestreado por: NSF Envirolab
Procedencia: PTAR Efluente El Indio Rehabilitada
Plan de Muestreo: LM 2.3 - 03
Referencia: AA.HH. El Indio Distrito de Castilla - Piura

Identificación de Laboratorio: S-0001170762
Tipo de Muestra: Agua Residual
Identificación de Muestra: Efluente PTAR
Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2015-07-02
Fecha y hora de Muestreo: 2015-07-01 11:35
Descripción del Punto de Muestra: Ubicado en el buzón de salida de las lagunas secundarias
Coordenadas UTM (Sistema WGS 84): 17M 544247 E / 9420780 N

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología			
# Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	2015-07-05		
Num. Coliformes Termotolerantes		790 000	NMP/100 mL
Química			
Aceites y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999	2015-07-03		
Aceites y Grasas (1L)		11	mg/L
Carbonatos en Agua. SMEWW Part 4500 CO2 - D	2015-07-07		
Carbonatos		0,5	mg/L
Conductividad en Agua. EPA Method 120.1 Revised March 1983	2015-07-02		
Conductividad		1 662,0	uS/cm
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2015-07-07		
DBO5		65	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2015-07-06		
DQO		246	mg/L
Fosfato en Agua. EPA Method 365.3, March 1983	2015-07-02		
Fosfato		9,030	mg/L
N-Nitrato en Agua. EPA Method 352.1, Revised March 1983	2015-07-09		
N - Nitrato		0,40	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012	2015-07-07		
Sólidos Totales en Suspensión		71	mg/L
Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983	2015-07-01		
Temperatura		24,4	°C
pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983	2015-07-01		
pH		7,5	

Nota(s) del Informe Final:

Parámetros realizados en el muestreo: pH y Temperatura.



Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Envirolab, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0135	#Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed. 2012
IQ0264	Aceltes y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999
IQ0269	Carbonatos en Agua. SMEWW Part 4500 CO2 - D
IQ0286	DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983
IQ0287	DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983
IQ0297	Fosfato en Agua. EPA Method 365.3, March 1983
IQ0305	N-Nitrato en Agua. EPA Method 352.1, Revised March 1983
IQ0310	pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983
IQ0318	Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012
IQ0327	Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983
IQ0971	Conductividad en Agua. EPA Method 120.1 Revised March 1983

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación.

Descripciones de ensayos precedidos por un "#" indican que los métodos han sido subcontratados.



NSF Envirolab
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACION INACAL-DA CON
REGISTRO N° LE-011



INFORME FINAL

Dirección de Entrega:

Cecilia Oliva
Av. Luis Eguiguren con Av. Las
Casuarinas - Ex Málaga S/ N
Al costado de la SUNARP
Piura, Piura
Peru

Solicitante: C0197590

Entidad Prest.de Ss.de Saneam. Grau S.A.
Jr. Zelaya La Arena Nro. S.N.
Urb. Santa Ana Piura
Piura, Piura
Peru

Resultado	Completo	Fecha de Informe	2015-10-19
Procedencia	PTAR Afluente El Indio Rehabilitada		
Producto	Agua		
Tipo de Servicio	Análisis		
Informe de Ensayo N°	J-00186933		
Coordinador de Proyecto	Erika Wendy Campos Simón		

Gracias por utilizar los servicios de NSF Envirolab. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.

Informe Autorizado por

Enrique Quevedo Bacigalupo
Jefe de Laboratorio

Ing. Mellina Granados Chuco
Asistente de Jefatura de Laboratorio

Fecha de Emisión 2015-10-19

Tel: (511) 616-5400

Fax: (511) 616-5418

Email: envirolab@nsf.orgWeb: www.envirolabperu.com.pe

FI20151019195913

J-00186933

pág 1 de 3

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Envirolab. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Envirolab no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 23598 (Oct-104)
 Muestreado por: NSF Envirolab
 Procedencia: PTAR Afluente El Indio Rehabilitada
 Plan de Muestreo: LM 2.3 - 03
 Referencia: AA.HH El Indio Distrito de Castilla - Plura

Identificación de Laboratorio: S-0001197833
 Tipo de Muestra: Agua Residual no Doméstica
 Identificación de Muestra: Afluente
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2015-10-03
 Fecha y hora de Muestreo: 2015-10-02 09:45
 Descripción del Punto de Muestra: Ubicado en el canal Parshall entrada hacia la laguna primaria
 Coordenadas UTM (Sistema WGS 84): 17M 0544280 E / 9421111 N

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología			
# Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	2015-10-06		
Num. Coliformes Termotolerantes		33 000 000	NMP/100 mL
Química			
*Caudal en Agua. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua OMA/MVCS	2015-10-02		
Caudal.		72,0	L/s
Aceites y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999	2015-10-16		
Aceites y Grasas (1L)		12	mg/L
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2015-10-08		
DBO5		210	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2015-10-07		
DQO		556	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012	2015-10-09		
Sólidos Totales en Suspensión		68	mg/L
Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983	2015-10-02		
Temperatura		28,2	°C
pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983	2015-10-02		
pH		7,6	

Nota(s) del Informe Final:

Parámetros realizados en el muestreo: pH, Temperatura y Caudal.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Envirolab, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0135	#Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed. 2012
IQ0264	Aceltes y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999
IQ0286	DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983
IQ0287	DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983
IQ0310	pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983
IQ0318	Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012
IQ0327	Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983
IQ0848	*Caudal en Agua. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua OMA/MVCS

Descripciones de ensayos precedidos por un "***" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el ""**" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación.

Descripciones de ensayos precedidos por un "#" indican que los métodos han sido subcontratados.



NSF Envirolab
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACION INACAL-DA CON
REGISTRO N° LE-011



INFORME FINAL

Dirección de Entrega:

Cecilia Oliva
Av. Luis Eguiguren con Av. Las
Casuarinas - Ex Málaga S/ N
Al costado de la SUNARP
Piura, Piura
Peru

Solicitante: C0197590

Entidad Prest.de Ss.de Saneam. Grau S.A.
Jr. Zelaya La Arena Nro. S.N.
Urb. Santa Ana Piura
Piura, Piura
Peru

Resultado	Completo	Fecha de Informe	2015-10-19
Procedencia	PTAR Efluente Indio Rehabilitada		
Producto	Agua		
Tipo de Servicio	Análisis		
Informe de Ensayo N°	J-00186934		
Coordinador de Proyecto	Erika Wendy Campos Simón		

Gracias por utilizar los servicios de NSF Envirolab. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.

Informe Autorizado por

Enrique Quevedo Bacigalupo
Jefe de Laboratorio

Ing. Mellna Granados Chuco
Asistente de Jefatura de Laboratorio

Fecha de Emisión 2015-10-19

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU
Tel: (511) 616-5400 Fax: (511) 616-5418 Email: envirolab@nsf.org Web: www.envirolabperu.com.pe

F120151019201414

J-00186934

pág 1 de 3

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Envirolab. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Envirolab no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.

Información General

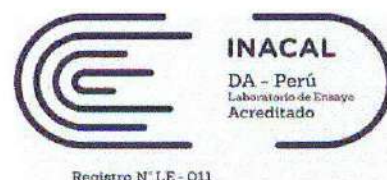
Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 23598 (Oct-106)
 Muestreado por: NSF Envirolab
 Procedencia: PTAR Efluente Indio Rehabilitada
 Plan de Muestreo: LM 2.3 - 03
 Referencia: AA.HH El Indio Distrito de Castilla - Piura

Identificación de Laboratorio: S-0001197835
 Tipo de Muestra: Agua Residual no Doméstica
 Identificación de Muestra: Efluente
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2015-10-03
 Fecha y hora de Muestreo: 2015-10-02 10:20
 Descripción del Punto de Muestra: Ubicado en el buzón colector de la laguna secundaria
 Coordenadas UTM (Sistema WGS 84): 17M 0544247 E / 9420780 N

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
N.D.: Significa No Detectable al nivel de cuantificación indicado en el paréntesis ().			
Microbiología			
# Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed.	2015-10-06		
Num. Coliformes Termotolerantes		490 000	NMP/100 mL
Química			
Aceites y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999	2015-10-16		
Aceites y Grasas (1L)		ND(<5)	mg/L
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2015-10-08		
DBO5		53	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2015-10-07		
DQO		214	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012	2015-10-09		
Sólidos Totales en Suspensión		58	mg/L
Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983	2015-10-02		
Temperatura		24,7	°C
pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983	2015-10-02		
pH		7,7	

Nota(s) del Informe Final:

Parámetros realizados en el muestreo: pH, Temperatura.



Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Envirolab, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0135	#Coliformes Termotolerantes (N)- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed. 2012
IQ0264	Aceltes y Grasas en Agua. EPA Method 1664 A-1999
IQ0286	DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983
IQ0287	DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983
IQ0310	pH en Agua. EPA Method 150.1 Revised March 1983
IQ0318	Sólidos Totales en Suspensión en Agua. SMEWW Part 2540-D, 22nd Ed 2012
IQ0327	Temperatura en Agua. EPA Method 170.1, Revised March 1983

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación.

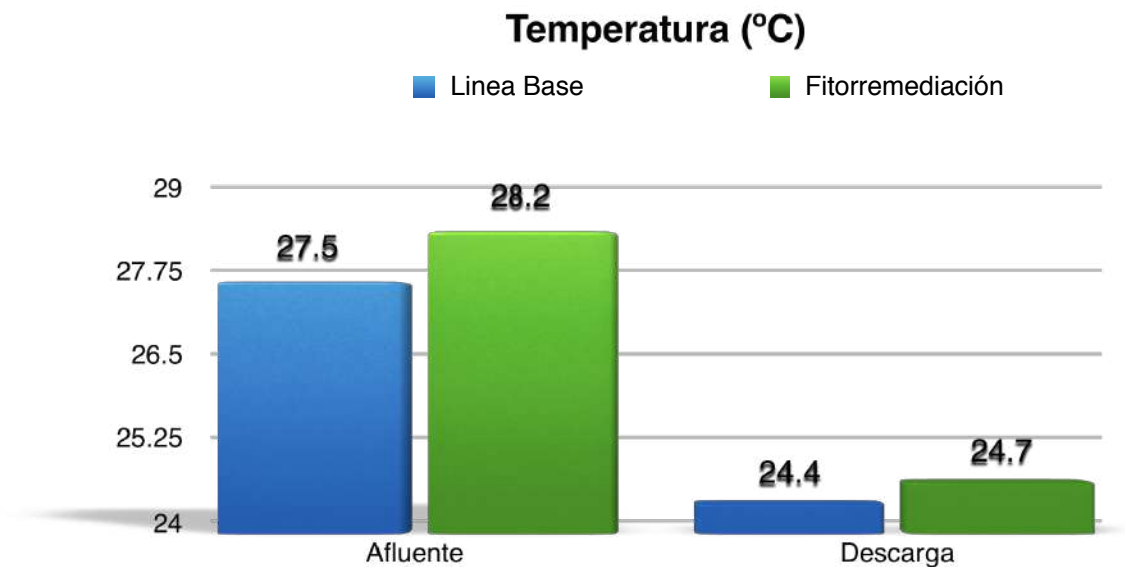
Descripciones de ensayos precedidos por un "#" indican que los métodos han sido subcontratados.

ANEXOS B

GRÁFICOS

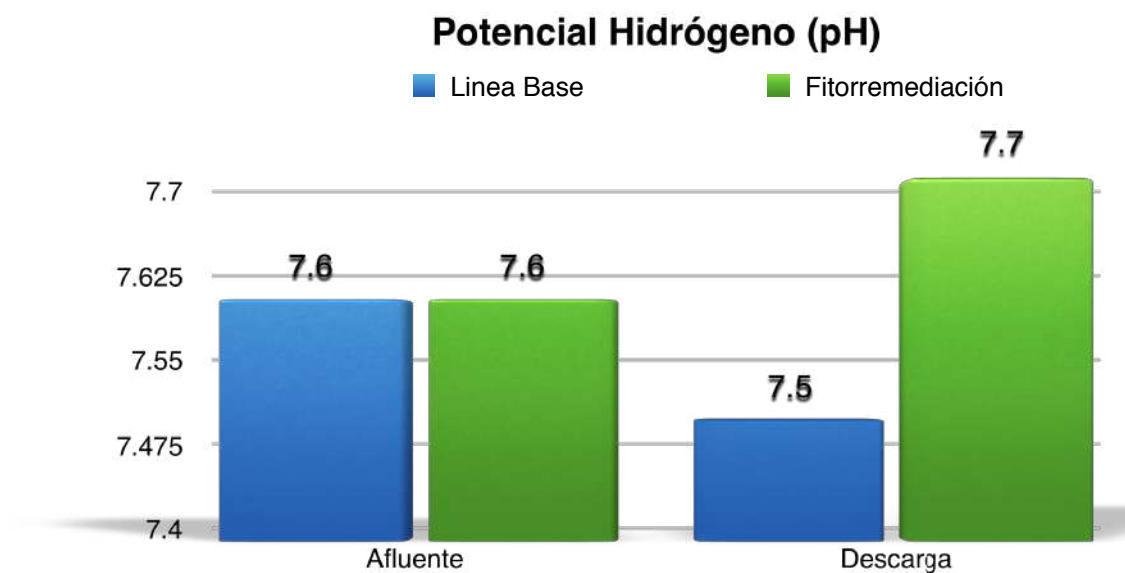
TEMPERATURA

Gráfico B-1. Datos de la temperatura durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



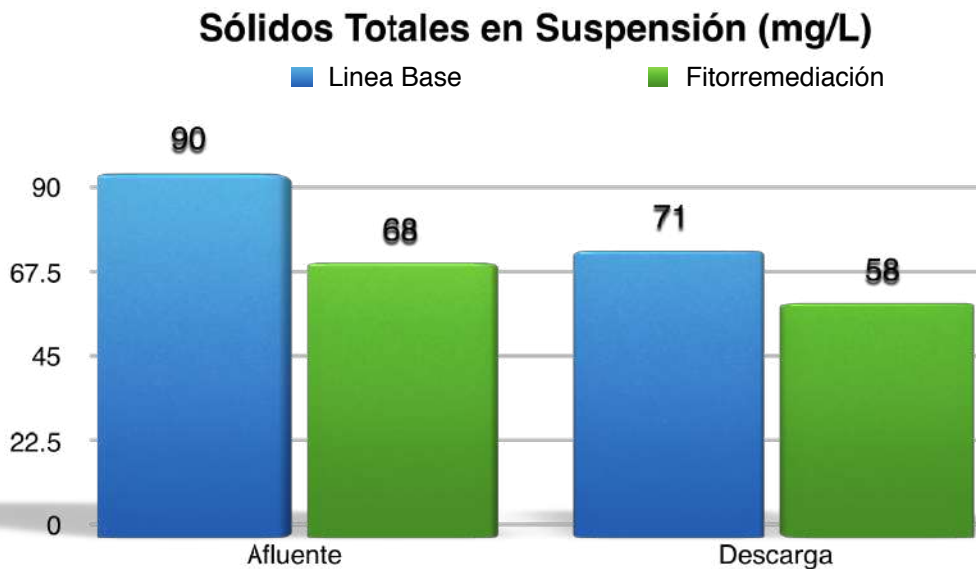
POTENCIAL HIDRÓGENO

Gráfico B-2. Datos del potencial hidrógeno durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



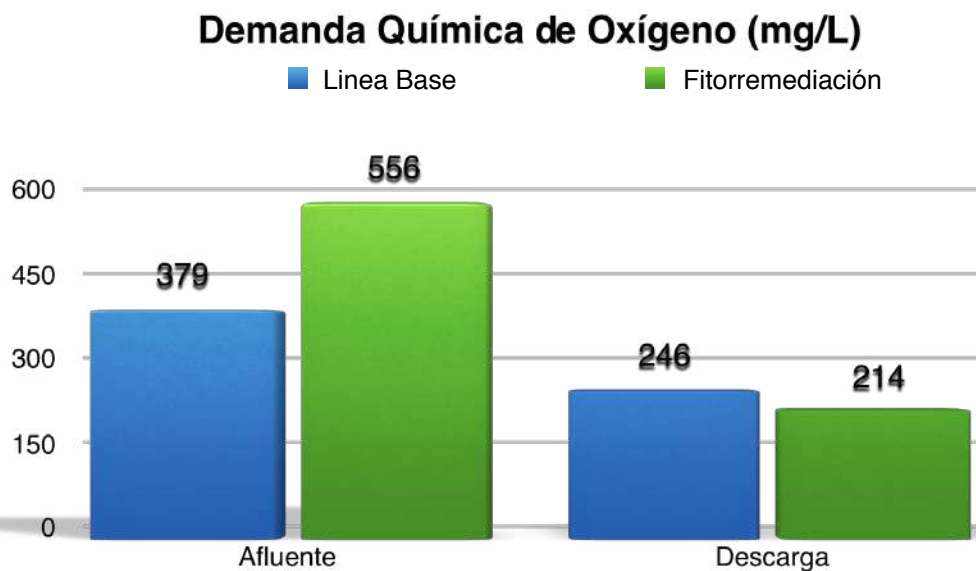
SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

Gráfico B-3. Datos de los sólidos en suspensión durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



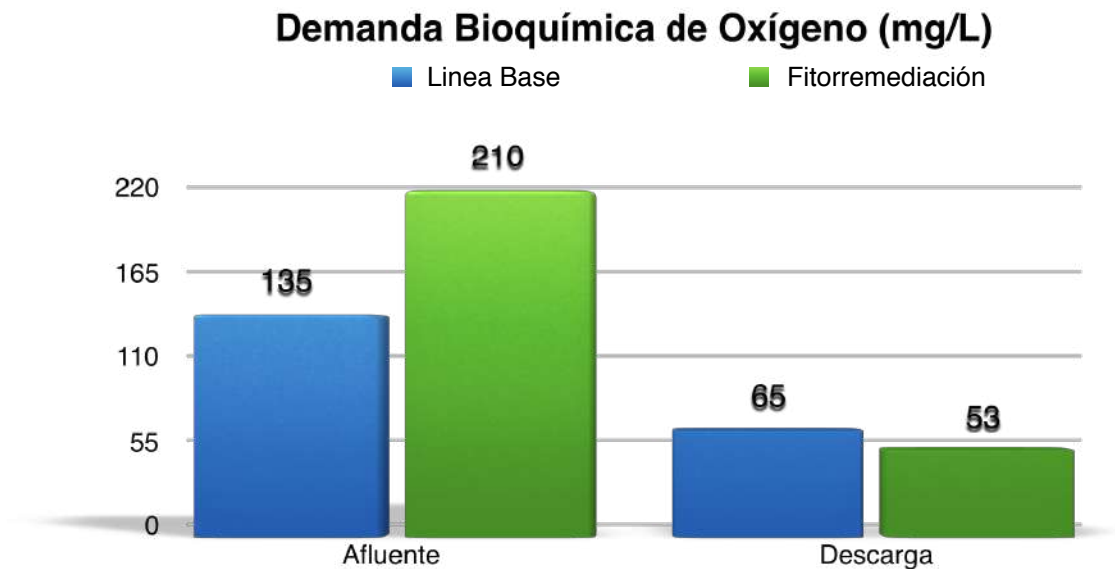
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Gráfico B-4. Datos de la DQO durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



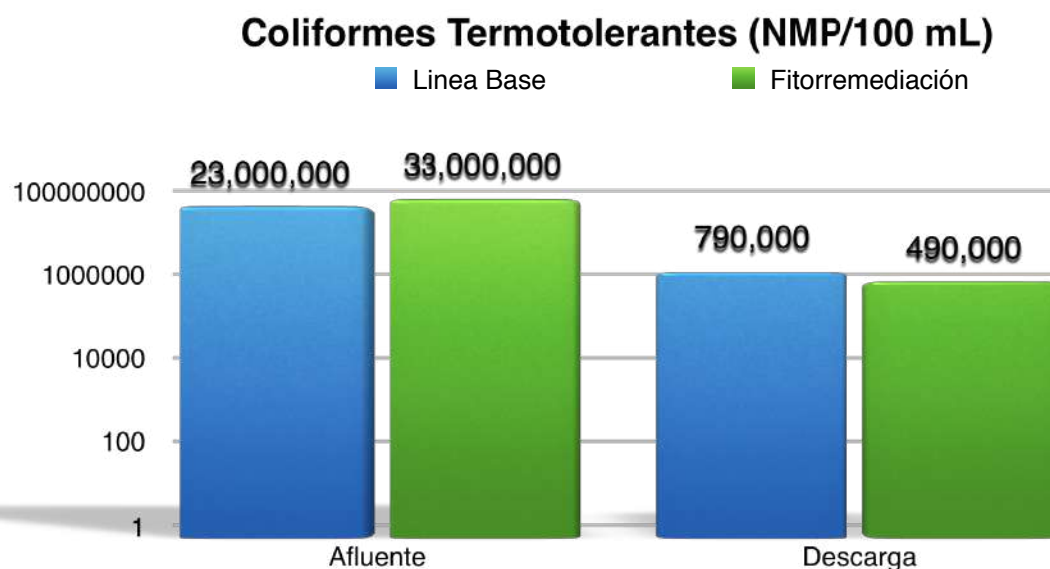
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Gráfico B-5. Datos de la DBO durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



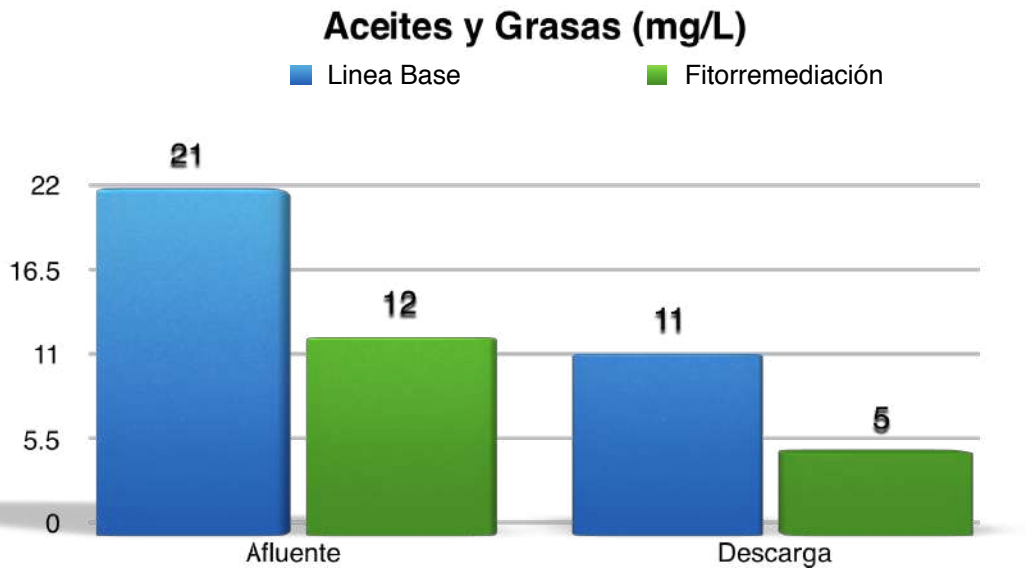
COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Gráfico B-6. Datos de los coliformes durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



ACEITES Y GRASAS

Gráfico B-7. Datos de los aceites y grasas durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.



EFICIENCIA DE REMOCIÓN

Gráfico B-8. Datos de la eficiencia de remoción durante el estudio de línea base y al finalizar la evaluación del sistema de tratamiento por fitorremediación.

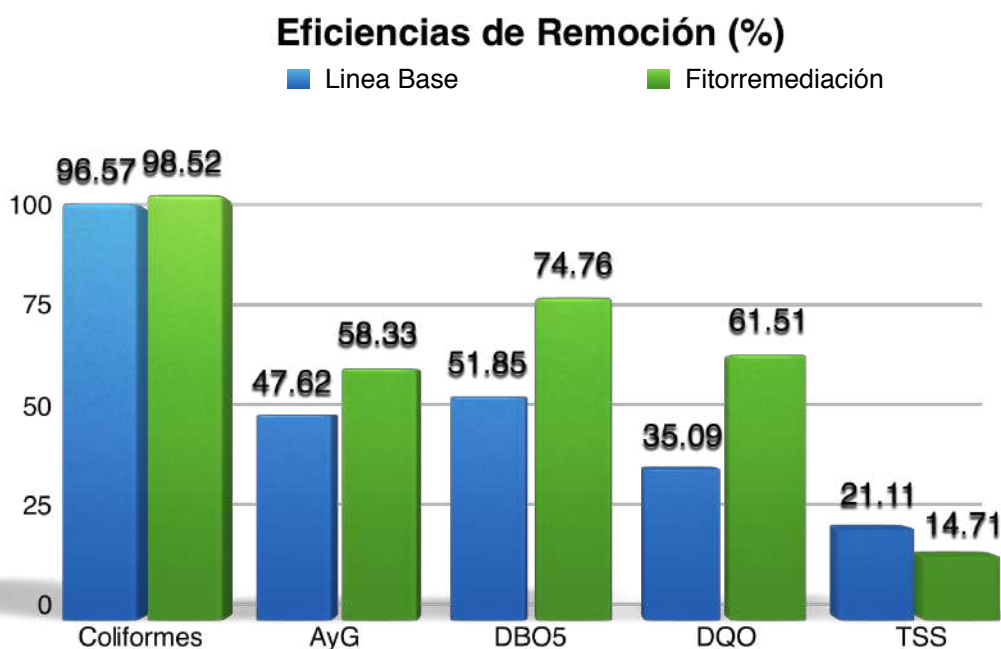


Gráfico B-9. Datos de diferencia de la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales.

