



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Tema:

**“INNOVACIÓN E IMPLEMENTACIÓN BIOLÓGICA EN LA PLANTA DE PUERTO
ARTURO – EMAPA-A PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES Y AGUAS SERVIDAS DOMICILIARES”**

Trabajo de Investigación. Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI). Presentado como Requisito Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Bioquímico.

AUTOR: Paúl Omar Veintimilla Pozo

Tutor: Ing. Ramiro Velasteguí, MSc, PhD

Ambato – Ecuador

2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de investigación (Graduación) sobre el tema: “INNOVACIÓN E IMPLEMENTACIÓN BIOLÓGICA EN LA PLANTA DE PUERTO ARTURO – EMAPA-A PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES y AGUAS SERVIDAS DOMICILIARES”, elaborado por el Egdo. Paúl Omar Veintimilla Pozo, de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Enero del 2014

.....
Ing. Ramiro Velasteguí, MSc, PhD

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación: “INNOVACIÓN E IMPLEMENTACIÓN BIOLÓGICA EN LA PLANTA DE PUERTO ARTURO – EMAPA-A PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES y AGUAS SERVIDAS DOMICILIARES”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de la autor.

Ambato, Enero del 2014

.....
Paúl Omar Veintimilla Pozo
180437621-6

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

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

Los miembros del tribunal de grado aprueban el presente trabajo de graduación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero del 2014

Para constancia firman:

.....
Presidenta Tribunal
Ing. Gladys Navas

.....
Miembro del tribunal
Ing. Manolo Córdova. Mg.

.....
Miembro del tribunal
Ing. Mauricio Calle. Mg.

DEDICATORIA

Primero a Dios

Por otorgarme la voluntad de todos los días para seguir adelante.

A mis Padres Patricio y Catalina

Por su apoyo incondicional, eterno cariño y comprensión hacia mi
persona
ejes fundamentales en mi formación personal y académica.

A mi Hermano Juan Patricio

Por ser uno de mis orgullos y motivo para seguir adelante.

A todos los familiares y amigos

que hicieron posible alcanzar esta meta.

Paúl.

AGRADECIMIENTO

El más sincero de los agradecimientos hacia mis Padres Patricio y Catalina, mi Hermano Juan Patricio por su incondicional apoyo y palabras de aliento para seguir adelante

Mis agradecimientos a la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica por los conocimientos adquiridos.

Al Dr. Ramiro Velasteguí por su confianza depositada en mí desde el primer momento de la realización de mi trabajo de investigación, paciencia, apoyo y confianza incondicional.

A la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de Ambato (EMAPA-A), por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación en especial a la Dra. Jannet Díaz, Ing. Jaqueline Ávila, Ing. Jorge Canseco e Ing. Paúl Acúrio por su amistad y ayuda incondicional en la ejecución de mi trabajo

A los familiares, amigos y personas que colaboraron en este mi proyecto de graduación.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	18
EL PROBLEMA	18
1.1 Tema de investigación	18
1.2 Planteamiento del problema	18
1.2.1 Contextualización.....	18
1.2.2 Análisis crítico	21
1.2.3 Prognosis.....	21
1.2.4 Formulación del problema.....	22
1.2.5 Preguntas directrices	22
1.2.6 Delimitación	22
1.3 Justificación	22
1.4 Objetivos	23
1.4.1 Objetivo general.....	23
1.4.2 Objetivos específicos	23
CAPITULO II.....	24
MARCO TEORICO	24
2.1 Antecedentes investigativos.....	24
2.2 Fundamentación filosófica	27
2.3 Fundamentación legal.....	27
2.4 Categorías fundamentales	32
2.4.1 Marco teórico de la variable independiente.....	32
2.4.2 Marco teórico de la variable dependiente.....	42
2.5 Hipótesis.....	49
2.6 Señalamiento de variables.....	49
2.6.1 Variable independiente	49
2.6.2 Variable dependiente	49
CAPITULO III.....	50
METODOLOGIA	50
3.1 Modalidad básica de la investigación	50
3.1.1 Investigación de campo.	50
3.1.2 Investigación documental – bibliográfica.....	50
3.1.3 Investigación experimental o de laboratorio	50
3.2 Nivel o tipo de investigación.....	50

3.2.1 Exploratoria.....	50
3.2.2 Descriptiva	51
3.3 Población y muestra	51
3.3.1 Población	51
3.3.2 Muestra.....	51
3.4 Operacionalización de variables	51
3.4.1 Variable independiente	51
3.4.2 Variable dependiente	52
3.5 Plan de recolección de información.....	53
3.5.1 Metodología	69
3.6 Plan de procesamiento de la información	80
CAPITULO IV	82
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	82
4.1 Análisis de resultados	82
4.1.1 Aluminio.....	82
4.1.2 Cloruros	82
4.1.3 Coliformes fecales	83
4.1.4 Cromo hexavalente.....	83
4.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno.....	83
4.1.6 Demanda química de oxígeno	83
4.1.7 Fluoruros.....	83
4.1.8 Fósforo total.....	84
4.1.9 Hierro total	84
4.1.10 Nitritos	84
4.1.11 Nitratos	84
4.1.12 Potencial de hidrógeno	84
4.1.13 Sólidos sedimentables	85
4.1.14 Sólidos totales.....	85
4.1.15 Sólidos suspendidos totales.....	85
4.1.16 Sulfatos.....	85
4.1.17 Tensoactivos ó detergentes	85
4.2 Interpretación de datos	95
4.3 Verificación de hipótesis	96
CAPITULO V	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
5.1 Conclusiones	97

5.2 Recomendaciones	98
CAPITULO VI	99
PROPUESTA.....	99
6.1 Datos informativos	99
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	99
6.3 Justificación	101
6.4 Objetivos.....	101
6.4.1 Objetivo general.....	101
6.4.2 Objetivos específicos	101
6.5 Análisis de factibilidad.....	101
6.6 Fundamentación	102
6.7 Metodología	103
6.8 Administración	106
6.9 Previsión de la evaluación.	106
Bibliografía.....	107
ANEXOS.....	113
Anexo A Tablas de resultados	114
Tabla A.1. Análisis realizados previa innovación e implementación biológica	115
Tabla A.2. Análisis realizados posterior a la innovación e implementación biológica	116
Tabla A.3 Resultados obtenidos durante la implementación e innovación biológica .	117
Tabla A.4.Comparativa entre etapas de análisis durante la implementación e innovación biológica	118
Tabla A.5. Valor de Ji cuadrado teórico X^2 : 3.841 (1 grado de libertad)	119
Anexo B Análisis estadístico	120
Tabla B.1. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para aluminio	121
Tabla B.1.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para aluminio	121
Tabla B.1.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para aluminio	122
Tabla B.2. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para cloruros.....	122
Tabla B.2.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para cloruros.....	122
Tabla B.2.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para cloruros.....	123
Tabla B.3. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para cromo hexavalente .	123
Tabla B.3.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para cromo hexavalente	123

Tabla B.3.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para cromo hexavalente	124
Tabla B.4. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para DBO	124
Tabla B.4.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para DBO.....	124
Tabla B.4.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para DBO.....	125
Tabla B.5. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para DQO	125
Tabla B.5.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para DQO.....	125
Tabla B.5.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para DQO	126
Tabla B.6.Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para fluoruros	126
Tabla B.6.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para fluoruros.....	126
Tabla B.6.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para fluoruros.....	127
Tabla B.7. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para fósforo total.....	127
Tabla B.7.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para fósforo total.....	127
Tabla B.7.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para fósforo total.....	128
Tabla B.8. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para hierro total	128
Tabla B.8.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para hierro total.....	128
Tabla B.8.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para hierro total.....	129
Tabla B.9. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para nitritos.....	129
Tabla B.9.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para nitritos.....	129
Tabla B.9.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para nitritos.....	130
Tabla B.10. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para nitratos.....	130
Tabla B.10.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para nitratos.....	130
Tabla B.10.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para nitratos.....	131
Tabla B.11. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para pH.....	131
Tabla B.11.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para pH.....	131

Tabla B.11.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para pH.....	132
Tabla B.12. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sólidos sedimentables.....	132
Tabla B.12.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para sólidos sedimentables.....	132
Tabla B.12.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para sólidos sedimentables.....	133
Tabla B.13. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sólidos totales.....	133
Tabla B.13.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para sólidos totales.....	133
Tabla B.13.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para sólidos totales.....	134
Tabla B.14. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sólidos suspendidos totales.....	134
Tabla B.14.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 sólidos suspendidos totales.....	134
Tabla B.14.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes sólidos suspendidos totales.....	135
Tabla B.15. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sulfatos.....	135
Tabla B.15.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para sulfatos.....	135
Tabla B.15.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para sulfatos.....	136
Tabla B.16. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para tensoactivos o detergentes.....	136
Tabla B.16.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para tensoactivos o detergentes.....	136
Tabla B.16.2. Prueba estadística no paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para tensoactivos o detergentes.....	137
Anexo C Gráficos.....	138
Gráfico C.1. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para aluminio.....	139
Gráfico C.1.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para aluminio.....	139
Gráfico C.1.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para aluminio.....	140
Gráfico C.2. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para cloruros.....	140
Gráfico C.2.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para cloruros.....	141
Gráfico C.2.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para cloruros.....	141
Gráfico C.3. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para cromo hexavalente.....	142

Gráfico C.3.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para cromo hexavalente	142
Gráfico C.3.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para cromo hexavalente	143
Gráfico C.4. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para DBO	143
Gráfico C.4.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para DBO	144
Gráfico C.4.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para DBO.....	144
Gráfico C.5. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para DQO.....	145
Gráfico C.5.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para DQO	145
Gráfico C.5.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para DQO	146
Gráfico C.6. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para fluoruros	146
Gráfico C.6.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para fluoruros	147
Gráfico C.6.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para fluoruros.....	147
Gráfico C.7. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para fósforo total.....	148
Gráfico C.7.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para fósforo total...	148
Gráfico C.7.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para fósforo total	149
Gráfico C.8. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para hierro total.....	149
Gráfico C.8.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para hierro total	150
Gráfico C.8.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para hierro total.....	150
Gráfico C.9. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para nitritos ...	151
Gráfico C.9.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para nitritos.....	151
Gráfico C.9.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para nitritos	152
Gráfico C.10. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para nitratos	152
Gráfico C.10.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para nitratos.....	153
Gráfico C.10.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para nitratos.....	153
Gráfico C.11. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para pH	154
Gráfico C.11.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para pH.....	154
Gráfico C.11.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para pH.....	155
Gráfico C.12. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sólidos sedimentables.....	155
Gráfico C.12.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos sedimentables.....	156
Gráfico C.12.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sólidos sedimentables.....	156
Gráfico C.13. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sólidos totales.....	157

Gráfico C.13.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos totales.....	157
Gráfico C.13.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sólidos totales	158
Gráfico C.14. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sólidos suspendidos totales	158
Gráfico C.14.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos suspendidos totales	159
Gráfico C.14.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sólidos suspendidos totales.....	159
Gráfico C.15. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sulfatos	160
Gráfico C.15.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sulfatos	160
Gráfico C.15.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sulfatos	161
Gráfico C.16. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para tensoactivos o detergentes	161
Gráfico C.16.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para tensoactivos o detergentes.....	162
Gráfico C.16.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para tensoactivos o detergentes.....	162
Anexo D Imágenes	163
Imagen D.1. Planta de tratamiento Puerto Arturo previo mantenimiento de infraestructura de cerramiento hacia la quebrada.	164
Imagen D.2. Caja de descarga de caudales de la planta de tratamiento Puerto Arturo previo mantenimiento.....	164
Imagen D.3. Presencia de maleza y excedente de agua contaminada de la planta de tratamiento previa implementación	165
Imagen D.4. Eliminación de maleza y relleno de la quebrada Puerto Arturo	165
Imagen D.5. Vista general de la planta de tratamiento Puerto Arturo	166
Imagen D.6. Entrada de agua contaminada a la planta de tratamiento	166
Imagen D.7. Tanque sedimentador planta de tratamiento Puerto Arturo.....	167
Imagen D.8. Filtro de piedra ascendente planta de tratamiento Puerto Arturo	167
Imagen D.9. Filtro de piedra descendente previa modificación planta de tratamiento Puerto Arturo	168
Imagen D.10. Estanque de secado de lodos planta de tratamiento Puerto Arturo.....	168
Imagen D.11. Descarga de contenido del tanque sedimentador al estanque de secado de lodos.....	169
Imagen D.12. Lavado de piedras en los filtros planta de tratamiento Puerto Arturo ..	169
Imagen D.13. Construcción del tanque mixto con lechuguín, tubos PVC, arena de cuarzo y filtro de piedra descendente	170

Imagen D.14. Colocación de piedra, arena de cuarzo, tubos PVC (flautas para oxigenación) y lechuguín en el filtro modificado de piedra descendente	170
Imagen D.15. Implementación de lechuguín, flautas para oxigenación, arena de cuarzo y filtro de piedra	171
Imagen D.16. Inoculación de microorganismos eficientes (EM•1®) en el tanque sedimentador.....	171
Imagen D.17. Burbujeo por actividad microbiana (EM•1®) en el tanque sedimentador.....	172
Imagen D.18. Toma de muestras.....	172
Imagen D.19. Etiquetado de muestras.....	173
Imagen D.20. Agua contaminada en su llegada a la planta de tratamiento.....	173
Imagen D.21. Caja de aforo para determinación de caudal de entrada.....	174
Imagen D.22. Material de preparación para microorganismos eficientes (EM•1®)....	174
Anexo E Documentación	175
Imagen E.1. Certificado de realización de análisis	176
Imagen E.2. Resultados obtenidos en la primera etapa de análisis	177
Imagen E.3. Resultados obtenidos en la segunda etapa de análisis.....	178

RESUMEN EJECUTIVO

La planta de tratamiento fue construida por el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua posteriormente a cargo de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA-A) para su control y mantenimiento, con la finalidad de mejorar las descargas de aguas contaminadas al medio ambiente. Sin embargo, debido al aumento de la población y la presencia de industrias ha dado como resultado el incremento de caudal y la ineficiencia para tratar la demanda de agua, esto ha generado malos olores y pérdida progresiva de la biodiversidad no cumpliendo así las características físico-químicas y microbiológicas de descarga de aguas contaminadas a cuerpos de agua dulce.

El estudio “Innovación e implementación biológica en la planta de Puerto Arturo – EMAPA-A para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias” tuvo como propósito mejorar la calidad del agua de la estación que desemboca en la quebrada del sector utilizando recursos naturales como son el uso de microorganismos eficientes (EM) inoculados en el tanque sedimentador, producto comercializado por la asociación de graduados de la universidad de la Earth en Ecuador y *Eichhornia crassipes* (lechuguín ó jacinto de agua) para mejorar los parámetros físico-químicos y microbiológicos hacia los límites permisibles establecido por el texto unificado de la legislación ambiental secundaria (TULAS) en un proceso continuo de tratamiento, es decir, el agua no deja de ingresar a la estación.

La implementación realizada en la estación consistió en modificar el filtro descendente en la última etapa de tratamiento a un tanque mixto con lechuguín, flautas de oxigenación y filtro de piedra descendente con ayuda de arena de cuarzo, esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas que retienen en sus tejidos metales pesados como Cd, Cr, Co, Ni, Pb, Hg, etc. que podría ser utilizado para la biolimpieza de aguas contaminadas, además remueve compuestos orgánicos.

Es una de las plantas de más rápido crecimiento, se reproducen principalmente por brotes que forman nuevas plántulas, además de por semillas. El vigoroso jacinto de agua común *Eichhornia crassipes* puede doblar su número en dos semanas.

Las flautas instaladas brindan oxígeno al agua principalmente absorbido de la atmósfera. El oxígeno se mueve continuamente entre el agua y el aire, la dirección y velocidad de este movimiento depende del contacto entre ambos, si la superficie del agua está expuesta al aire, absorberá más oxígeno de la atmósfera que una masa de agua en calma.

Una vez en el agua, el oxígeno es utilizado por la vida acuática. Los peces y otros animales acuáticos necesitan oxígeno para respirar. El oxígeno es consumido también por las bacterias de plantas y animales muertos o en descomposición.

La innovación aplicada fue la aplicación de microorganismos eficientes (EM) este es un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, compuesto principalmente por bacterias procesadoras del ácido láctico, levaduras y bacterias fotosintéticas. Así, los microorganismos coexisten en un medio líquido y cuando son introducidos en un ambiente natural, los efectos de sus beneficios individuales son incrementados dentro de una dinámica sinergia o de competencia con microorganismos patógenos según se requiera.

Cuando se aplica EM en un ambiente determinado y sus microorganismos fermentadores colonizan, se detiene el proceso de putrefacción, reemplazado por una intensa fermentación. Al detenerse la putrefacción, se suprime la generación de olores y muchos otros procesos ligados a la oxidación de materia orgánica. Además, algunos microorganismos de EM, como bacterias ácido lácticas, generan ácidos orgánicos como resultado de su metabolismo son capaces también de mejorar parámetros físico-químicos.

Para conocer las características del agua tratada se realizaron diecisiete análisis como son aluminio, cloruros, coliformes fecales, cromo hexavalente, DBO₅, DQO, fluoruros, fósforo total, hierro total, nitritos, nitratos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos, tensoactivos, estos análisis fueron realizadas antes y después de la innovación e implementación.

Mediante análisis crítico de los resultados en base a gráficas para cada etapa de la planta de tratamiento en relación a TULAS y con la prueba no paramétrica de Ji cuadrado X² se determinó si los datos obtenidos presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula en los parámetros analizados y así determinar si existe disminución de concentraciones y sus porcentajes de reducción.

En la evaluación analítica realizada dejó como resultados un proceso de tratamiento continuo favorable en 13 parámetros como son aluminio, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos y tensoactivos o detergentes.

En relación al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) de los 13 parámetros mejorados, 4 no están por debajo de la norma como son DBO, DQO, sólidos suspendidos y tensoactivos aunque porcentualmente evidencian mejora en el proceso de tratamiento.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema de Investigación

“INNOVACIÓN E IMPLEMENTACIÓN BIOLÓGICA EN LA PLANTA DE PUERTO ARTURO – EMAPA-A PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y AGUAS SERVIDAS DOMICILIARES”

1.2 Planteamiento del problema

La planta de tratamiento fue construida por el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua posteriormente a cargo de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA-A) para su control y mantenimiento, con la finalidad de mejorar las descargas de aguas contaminadas al medio ambiente. Sin embargo, debido al aumento de la población y la presencia de industrias que dado como resultado el incremento de caudal y la ineficiencia para tratar la demanda de agua, ha generado malos olores y pérdida progresiva de la biodiversidad no cumpliendo así las características físico-químicas y microbiológicas de descarga de aguas contaminadas a cuerpos de agua dulce.

1.2.1 Contextualización

Enkerlin y colaboradores (1997) indica que “El agua representa uno de los recursos naturales renovables mayormente utilizados en las actividades humanas a nivel mundial. Antiguamente el agua que transportaba los contaminantes se desechaba directamente en cuerpos de agua receptores sin ningún control”.

Luzuriaga y colaboradores (1982) interesados en el tema mencionan que: Los efectos sobre este recurso básico pueden ser notables y afectar a variables como la calidad del agua de consumo humano o de riego, la cantidad de lluvia y el balance hídrico de las cuencas, lo que puede afectar a embalses cercanos, Además pueden afectarse recursos paisajísticos y turísticos como lagos ó cascadas. La utilización de productos químicos para las plantaciones puede provocar una contaminación grave del recurso.

Enkerlin y colaboradores (1997) en su libro ciencia ambiental y desarrollo sostenible indica: en la actualidad se ha tomado conciencia del peligro que ocasiona el desechar aguas contaminadas directamente hacia los ríos y lagos, ya que esto además de causar daños en el ecosistema que está en contacto directo, puede afectar procesos subsecuentes de tratamiento del agua como la presencia de metales pesados.

La mayoría de las técnicas de tratamiento dependen de las características del contaminante que se desea eliminar. Entre las técnicas más empleadas se cuentan las técnicas de precipitación (metales), intercambio iónico, complejos, procesos biológicos, etc. Sin embargo en todas estas técnicas, aunque se elimina el contaminante del agua descargada a los cuerpos receptores, también se obtiene una

solución o lodos concentrados con el contaminante, de esta manera es necesario saber disponer correctamente esta parte de los desechos del proceso para evitar verdaderamente la contaminación.

Rodríguez (2006) menciona que: según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

La ausencia de tratamiento, las aguas residuales son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales, conteniendo 40% de las especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36% de las especies cultivadas de alimentos y productos industriales, donde tan solo el 1% de la región presenta intenso interés en la preservación y protección del medio ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud humana.

Reynolds (2002) indica que para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías de desarrollo, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. Sin embargo, dichos esfuerzos requieren inversiones sustanciales de capital. Solamente en México, se estima una inversión de US\$2,900 millones para proporcionar agua limpia y servicios de saneamiento a los habitantes urbanos. Se necesitan miles de millones de dólares para servir a la región latinoamericana.

Salgado (2011) muestra serio interés en leyes y reglamentos ambientales e indica: En el Ecuador existen leyes y reglamentos que prohíben la contaminación del aire, el agua, del suelo e inclusive la contaminación por ruido. Así mismo existen ordenanzas municipales en varias ciudades para minimizar los impactos de la contaminación, pese a ello el problema lejos de disminuir se incrementa cada día. El ministerio del Ambiente ha creado una línea verde para receptor denuncias sobre contaminación, ahora hemos de esperar que los reglamentos y reglas sean cumplidas y que logremos entonces modificar los comportamientos actuales que contaminan el ambiente e implementar una sociedad con menos riesgos y más sustentable. La solución, sin duda pasa por la instalación de filtros, optimización de equipos, control biológico de plagas, uso de energías alternativas, y otras medidas de mitigación pero sobre todo

por el cambio del modelo de desarrollo, en el cual las personas sean conscientes de la importancia de no contaminar.

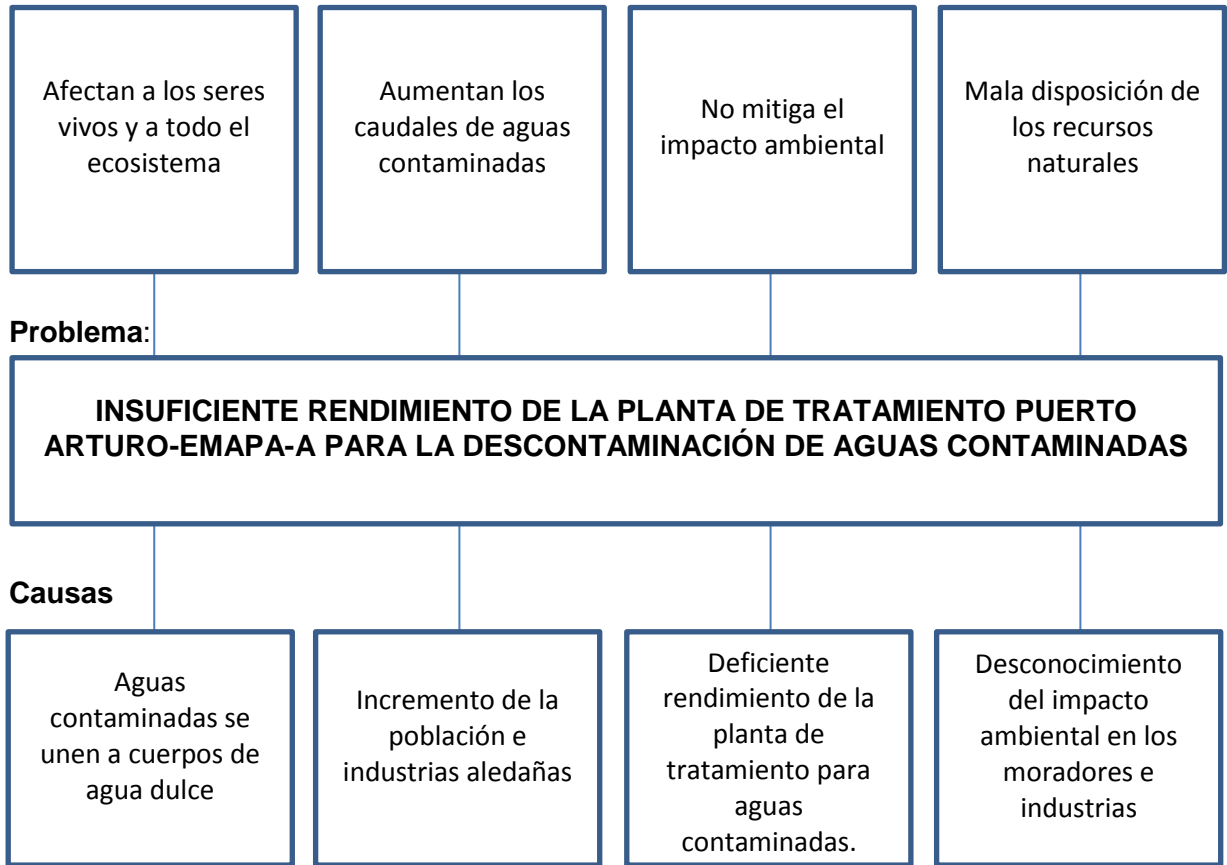
En la ciudad de Ambato la situación es crítica, debido a que es una ciudad industrial, de tal manera debido a la concentración de curtiembres en el sector norte de Ambato, las aguas residuales que se originan por el proceso de estas empresas, afectan a los cultivos de la zona. Según la directora de higiene del municipio de Ambato, Lourdes Llerena, son dos o tres personas inescrupulosas que rompen el sistema de alcantarillado para sacar el agua e irrigar en sus terrenos. Ellos ya han sido sancionados. La funcionaria dice también que de acuerdo con el plan de reordenamiento territorial, las curtiembres deberán reubicarse. Existen al menos cuarenta y tres curtidurías que no poseen planta de tratamiento de agua que contienen elementos químicos que podrían generar trastornos e incluso cáncer (Paredes, 2004).

Nebel (1999) señala que una buena opción para el tratamiento de aguas contaminadas son los sistemas de lodos activados el cual consiste en que el agua que sale de los tratamientos primarios como sedimentadores, se deposite en un tanque grande (en el que podrían caber varios camiones remolques de tractores) equipado con un sistema de burbujeo.

Otros sistemas complementarios como la fitorremediación empleada por Fiallos (2011), consistieron en implementar dos estanques en el que se cultivan por separado dos especies vegetales como “lechuguín” (*Eichhornia crassipes* – Fam. Poaceae Gramíneas) y “carrizo” (*Phragmites australis* – Fam . Pontederiaceae Pontederiáceas), esta implementación brinda como resultados la reducción de parámetros contaminantes.

1.2.2 Análisis crítico

Efectos



Realizado por: Paúl Veintimilla, 2012.

1.2.3 Prognosis

Al no tener una planta de tratamiento de aguas contaminadas en buen funcionamiento y dejar que se sigan descargando aguas contaminadas no tratadas correctamente hacia cuerpos de agua dulce, se desperdiciaría las instalaciones construidas para su correcto funcionamiento, que mediante la progresiva cantidad de aguas del sector aumentaría el problema de la contaminación en Puerto Arturo, Ambato.

Se espera que la planta de tratamiento sea una solución ecológica para el tratamiento de aguas ya que involucran una serie de procesos microbiológicos dentro de un tanque destinados a la digestión de la materia orgánica, siendo un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos dirigido principalmente por microorganismos saprófitas (se alimentan de materia orgánica muerta), que en sus principales ventajas requiere de instalaciones económicas.

1.2.4 Formulación del problema

¿La Innovación e Implementación biológica en la planta de Puerto Arturo – EMAPA-A para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias contribuirá a resolver el problema de contaminación?

1.2.5 Preguntas directrices

¿Qué nuevos dispositivos biológicos se diseñarán en la planta de Puerto Arturo para descontaminar las aguas servidas domiciliarias e industriales?

¿Qué parámetros se deben evaluar de los dispositivos instalados mediante análisis físico-químicos y microbiológicos de las aguas tratadas?

¿Cuáles son las innovaciones en la planta de tratamiento Puerto Arturo?

1.2.6 Delimitación

Área: Ingeniería Ambiental.

Sub-área: Remediación Ambiental.

Sector: Descontaminación de aguas servidas domiciliarias e industriales.

Sub-sector: Aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias.

Temporal: Diciembre 2012 – Julio 2013.

Espacial: El trabajo de Investigación se realizó en la planta de tratamiento de aguas contaminadas perteneciente al Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, Departamento de recursos hídricos, bajo control y supervisión de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA-A), en el sector de Puerto Arturo, Parque Industrial y en los laboratorios de la empresa.

1.3 Justificación

El agua representa uno de los recursos más indispensables para la vida, pues compone la mayor parte de los organismos vivos y es utilizada en casi toda clase de actividades humanas, animales y plantas siendo importante para la agricultura, procesos industriales y de manufactura, generación de energía eléctrica, asimilación de desechos, recreación, etc.

Debido a que la calidad del agua ha sido un factor determinante en la calidad de la vida, así mismo la contaminación del agua ha provocado la desaparición completa de especies animales y de variedades de plantas y porque no decirlo, hasta la pérdida de seres humanos mediante epidemias de enfermedades por virus o bacterias como lo fue en su momento el cólera, esto en Latinoamérica, mientras en países industrializados el problema más común es la contaminación del agua por desechos industriales tóxicos, metales pesados, dioxinas, agroquímicos, etc.

Es conocido que toda actividad humana provoca impacto ambiental donde la gran mayoría son productos de industriales y descargas municipales de efluentes contaminados de las ciudades, siendo las ciudades la principal fuente de contaminación del agua que luego de ser utilizadas se liberan en forma de aguas residuales y mezclan

con las corrientes naturales de agua dulce sin un previo tratamiento para ser descargados al medio ambiente y sin tratar de mitigar lo más que se pueda el impacto ambiental.

Al mejorar la planta de tratamiento de aguas residuales industriales y servidas domiciliarias en el sector de Puerto Arturo se beneficiaría según información técnica a los sectores económicos agropecuarios y ganaderos debido a que existen dos tipos de efluentes que contaminan los ríos de la zona central del país: los domésticos e industriales. Ambos afectan la flora y fauna. Esta contaminación lleva bacterias que se producen en desechos fecales y sustancias de carácter químico, esto también puede estar generando contaminación a los productos agrícolas y a su vez traspasada a animales, plantas y finalmente al ser humano. Al no ser tratados correctamente los efectos puede ser irreversibles, hoy no se pueden ver con facilidad, pero se estima que en los próximos diez años la contaminación sea grave y eso generaría un impacto social y económico.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar una innovación biológica en la planta de Puerto Arturo EMAPA-A para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias.

1.4.2 Objetivos Específicos

Diseñar nuevos dispositivos biológicos en la planta de Puerto Arturo que contribuyan a la descontaminación aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias.

Evaluar el comportamiento de los dispositivos instalados mediante análisis físico-químicos y microbiológicos de las aguas tratadas en la planta.

Implementar las innovaciones planificadas en la planta de tratamiento.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes investigativos

Nebel (1999) indica que: las aguas contaminadas no tratadas son una de las principales amenazas para la salud pública porque son el principal medio de difusión de muchas enfermedades infecciosas. El excremento de los seres humanos y otros animales infectado con ciertos microorganismos patógenos (bacterias, virus y otros organismos que causan enfermedades), contiene grandes cantidades de estos huevecillos (Tabla 1). Incluso si los síntomas del padecimiento desaparecen, es posible que los individuos infectados alberguen poblaciones reducidas del microorganismo patógeno, de modo que siguen siendo portadores de la enfermedad.

Tabla 1: Microorganismos patógenos en las aguas residuales

Enfermedad	Agente infeccioso
Fiebre tifoidea	<i>Salmonella typhi</i> (bacteria)
Cólera	<i>Vibria cholerae</i> (bacteria)
Salmonelosis	Varias especies de <i>Salmonella</i> (bacterias)
Diarrea	<i>Escherichia coli</i> y varias especies de <i>Campylobacter</i> (bacterias)
Hepatitis infecciosa	Virus de la hepatitis A
Poliomielitis	Virus de la polio
Disentería	Varias especies de <i>Shigella</i> (bacteria), <i>Entamoeba histolytica</i>
Giardiasis	<i>Giardia intestinalis</i> (protozoario)
Numerosas enfermedades parasitarias	(ácaros, platelmintos)

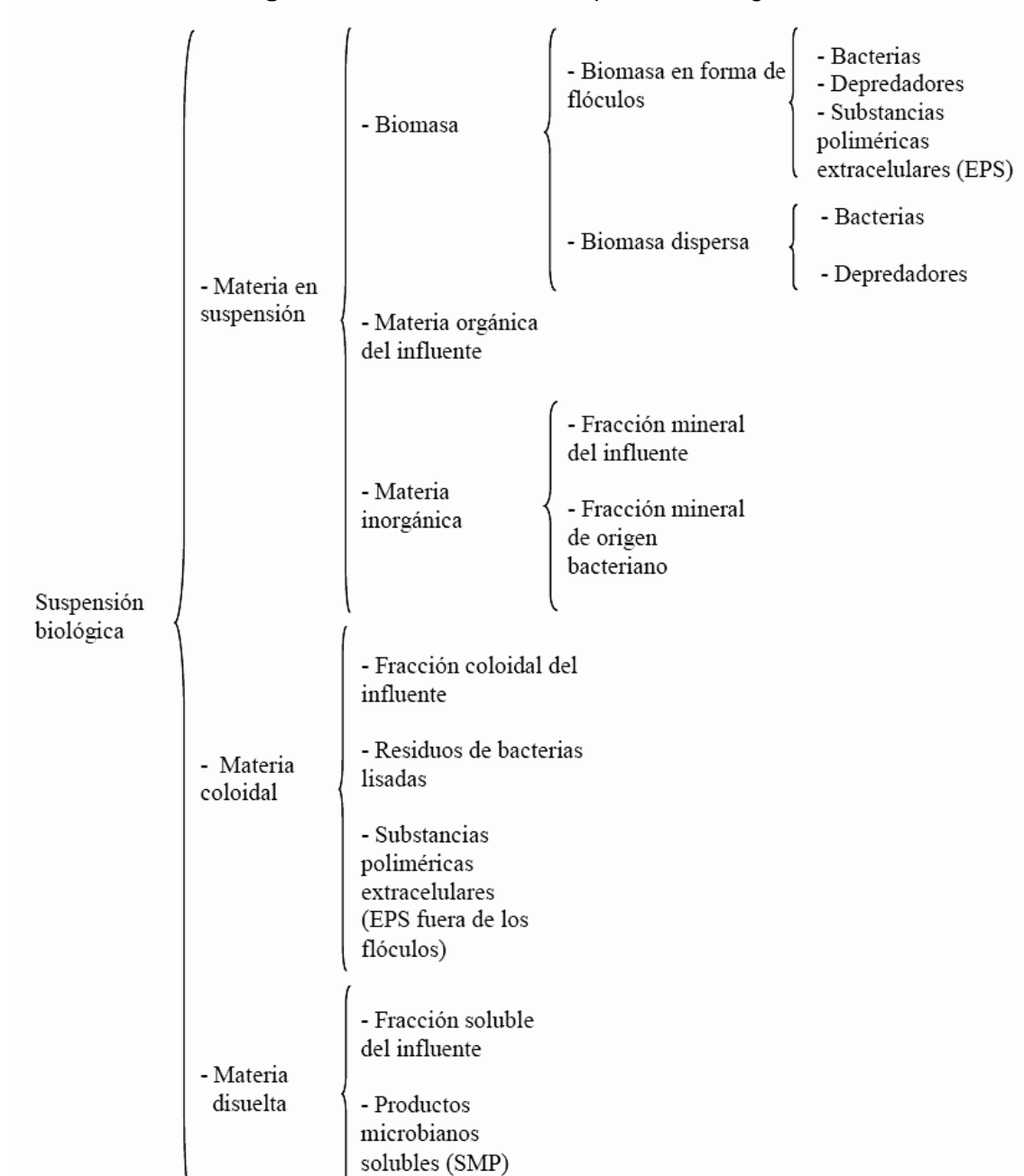
Fuente: Nebel, 1999.

Según lo sostiene Levin (1997), “Aunque los reactores aerobios normalmente son la forma más económica de destruir la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) no peligrosa, los biorreactores anaerobios se pueden emplear conjuntamente con el tratamiento convencional cuando existen unas necesidades especiales de tratamiento”.

Villalón (2008) menciona que: la tecnología de lodos activados es una de las más difundidas a nivel mundial, creado para el tratamiento de efluentes industriales y efluentes municipales. El proceso biológico de tratamiento de aguas residuales denominado lodos activados, tiene un amplio uso para el tratamiento de aguas

residuales e industriales debido a la versatilidad que posee para adaptarse a distintas condiciones de operación. El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión floculada en un sistema aireado y agitado. Las bacterias o población microbiana se encuentran asociadas en forma de flóculos y es la responsable de la eliminación de los contaminantes del agua. Sin embargo, cabe subrayar que estos flóculos forman parte de una suspensión biológica cuya composición tiene una estructura compleja en la cual los contaminantes constituyen el substrato para los microorganismos. Los lodos corresponden a un conjunto de microorganismos y compuestos presentes en la suspensión biológica.

Figura 1: Estructura de la suspensión biológica



Fuente: (Villalón, 2008).

En el Ecuador existen plantas de tratamiento de aguas residuales aunque el ejemplo más representativo en el tratamiento de aguas residuales la tiene la ciudad de Cuenca capital de la provincia del Azuay en donde la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental de Cuenca (E.T.A.P.A, 2012), como responsable de la dotación de los servicios de agua potable y saneamiento, consciente de la magnitud del problema que se estaba produciendo, desde 1983 ha realizado una serie de actividades inclinadas a la recuperación de la calidad del agua de los ríos que atraviesan la ciudad y preservación de la salud de la población, para lo cual realizó la construcción de alrededor 70 Km de colectores, así como la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, la misma que actualmente está en su fase de funcionamiento rutinario desde el mes de noviembre de 1999. En forma complementaria y con la finalidad de garantizar el buen funcionamiento de la planta de tratamiento por lagunas de oxidación, se han implementado programas de control de la contaminación por vertidos líquidos industriales, recolección de pilas usadas y la recolección de aceites usados provenientes de mecánicas y lubricadoras. Además durante la operación de la misma se ha visto la necesidad de emprender con proyectos complementarios tendientes a optimizar, disminuir los costos de los procesos de tratamiento y prolongar la vida útil de la planta, manteniendo la calidad de los servicios y la imagen de la empresa ante los usuarios y la comunidad en general.

Fiallos (2011) en su estudio realizado en la estación de tratamiento de aguas servidas denominada “El Peral” ubicada en la ciudad de Ambato en el sector de Ficoa–La Delicia, es uno de los lugares que dispone la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA), para la recepción y tratamiento de aguas contaminadas provenientes de aguas de uso doméstico para luego ser descargadas en el rio Ambato indica que: estas aguas no cumplen con todas las características técnicas tanto microbiológicas como físico-químicas como para ser descargadas a cuerpos de agua dulce, en esta estación se tuvo como propósito fundamental mejorar las características de las aguas utilizando componentes biológicos alternativos como la implementación de dos estanques en los que se cultivaron por separado dos especies vegetales, el uno contuvo “lechuguín” (*Eichhornia crassipes* – Fam. Poaceae Gramíneas) y el otro “carrizo” (*Phragmites australis* – Fam . Pontederiaceae Pontederiáceas) y así cumplir con los valores permisibles según el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), aquí se pudo evidenciar el decremento de la concentración de los contaminantes especialmente en el caso del estanque con “lechuguín” puesto que el vegetal se adaptó al medio sin problema, no así en el caso del estanque con “carrizo” que aunque disminuyó la carga contaminante, no tuvo un comportamiento estable debido probablemente al tipo y niveles de concentración de los contaminantes, los dos vegetales empleados por separado son beneficiosos para la descontaminación de las aguas servidas.

2.2 Fundamentación filosófica

Zayas (2010) indica que: “El paradigma son esquemas mentales teóricos a cerca de la percepción de las cosas enfocadas a un carácter científico”.

El proceso de investigación científica, está influido por las tendencias epistemológicas actuales y polémicas existentes al respecto. El término epistemología proviene de los vocablos griegos (epistémé) que significa ciencia, conocimiento y (logos) estudio o teoría, por lo que la epistemología se ocupa del estudio de los procesos de elaboración del conocimiento en este caso en función del cuidado del medio ambiente y reducir los niveles de contaminación ambiental y problemas de salud.

Esta investigación corresponde a un paradigma positivista orientada a una investigación lógica, la formulación de hipótesis, su verificación y la predicción a partir de las mismas, la sobrevaloración del experimento, el empleo de métodos cuantitativos y de técnicas estadísticas para el procesamiento de la información, así como niega o trata de eliminar el papel de la subjetividad del investigador y los elementos de carácter axiológico e ideológicos presentes en la ciencia, como forma de la conciencia social, pretendiendo erigirse como la filosofía de las ciencias.

Es importante en el debate científico sobre esta temática buscar los elementos comunes y enfrentar las contradicciones, aun las más aparentemente insolubles, en la búsqueda del conocimiento; ser fiel a los principios de la ciencia, y tomar partido a favor de la verdad, lo que pasa por la posibilidad de conocer y transformar la naturaleza y la sociedad

2.3 Fundamentación legal

El estudio se basa la Constitución Política de la República del Ecuador aprobada por referéndum en el año 2008 y en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria año 2010.

Constitución Política de la República del Ecuador

Comenzando por el capítulo segundo Derechos del buen vivir, sección primera agua y alimentación en su Art.12 dice que: El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescindible, inembargable y esencial para la vida.

En la sección segunda, Ambiente sano en su Art. 14 dice que: Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

El Art. 72 en el capítulo séptimo, Derechos de la naturaleza menciona que: La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la

obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 73 que: El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

En el capítulo noveno de responsabilidades Art. 83 Literal 6 dice que: Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley: Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

En el capítulo segundo Biodiversidad y Recursos Naturales el Art. 395 dice en su Literal 1 que: El estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras, mientras que el Literal 2 dice que: las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

Importante es mencionar el Art.396 donde dice que: Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir, cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que han causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

En la sección sexta recurso agua, manifiesta en el Art.411 que: El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial de las fuentes y zonas de recarga de agua. La sostenibilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Mientras que el Art. 412 se manifiesta que: La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) 2010

En el libro VI anexo 1, tabla 12: La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. La presente norma técnica determina o establece:

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

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y las que a continuación se indican:

Aguas residuales

“Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original”.

Cuerpo receptor o cuerpo de agua

“Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales”.

Tabla 2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		⁸ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia

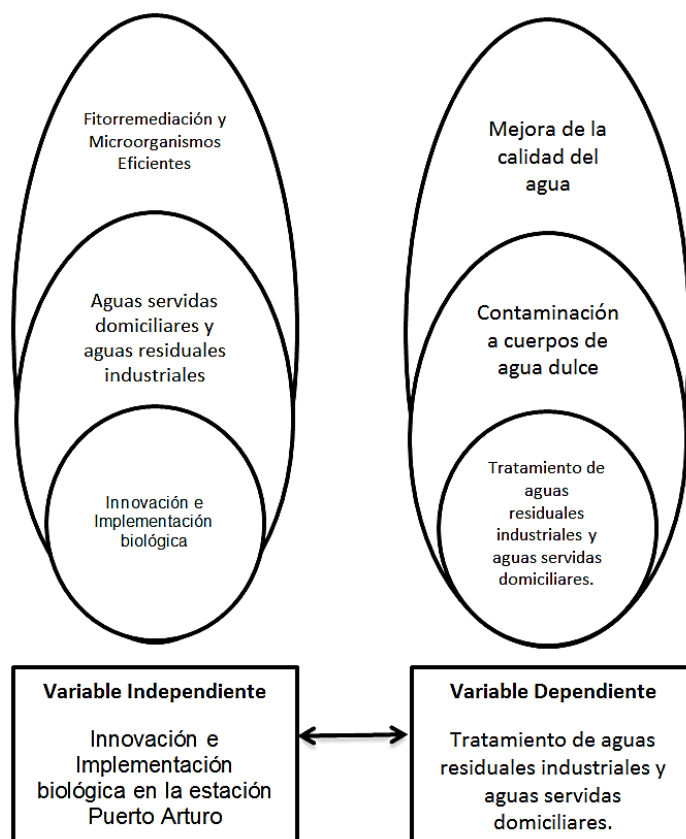
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	Ph		5 - 9.
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C	mg/l	< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

⁸ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Fuente: TULAS, 2010.

2.4 Categorías fundamentales



2.4.1 Marco Teórico de la Variable Independiente

2.4.1.1 Innovación e Implementación biológica en la estación Puerto Arturo.

El Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (2012) a través de la dirección de recursos hídricos y medio ambiente menciona que se ha realizado estudios en las aguas producto del consumo humano y de actividades domésticas, antes de su devolución a la naturaleza mencionando que deben ser tratadas, para que estas no sean causa de contaminación y posibles enfermedades.

Estas aguas contienen cantidades pequeñas de sólidos (orgánicos e inorgánicos), en un volumen enorme de agua, de los cuales la mitad están en solución, una cuarta parte se depositará y la otra cuarta parte está en suspensión, además contienen infinidad de microorganismos, los mismos que son la parte viva de la materia orgánica de suma importancia ya que un grupo de ellos son los que realizan el tratamiento, donde este tipo de plantas son diseñadas para tratar diferentes tipos de aguas contaminadas.

2.4.1.2 Aguas servidas domiciliarias y aguas residuales industriales

Las principales fuentes de aguas residuales son:

- Aguas domésticas o urbanas: (entre el 60 y el 80%).
- Aguas residuales industriales: depende del tipo de industria, gestión de consumo de agua y grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga.
- Aguas de usos agrícolas.
- Aguas pluviales: contienen concentraciones significativas de bacterias, elementos traza, petróleo y productos químicos orgánicos.

2.4.1.2.1 Aguas servidas domiciliarias

El autor Romero (2004) menciona que el agua residual de uso doméstico son aquellas que se han generado en núcleos urbanos, están compuestas por residuos de actividades humanas, arrastres de aguas de lluvia, y pequeñas actividades industriales urbanas. Las aguas residuales urbanas se constituyen a causa del aporte de:

Excretas humanas: que contienen los residuos sólidos y líquidos que constituyen las heces humanas fundamentalmente. Residuos domésticos: aguas de cocina (sales, detergentes, grasas, etc.), aguas de baño (detergentes, etc.) y aguas de limpieza de locales. Algunas sustancias químicas pueden contaminar el agua como consecuencia del desecho de productos químicos usados generalmente en los hogares; en particular, las aguas residuales domésticas pueden contener ciertos metales pesados. Cuando las aguas residuales se depuran, los metales pesados normalmente quedarán retenidos en los lodos. Algunas sustancias químicas muy utilizadas en la industria y en materiales utilizados en el ámbito doméstico, por ejemplo, el di(2-etilhexil)ftalato, están muy extendidas en el medio ambiente, y pueden contaminar las fuentes de agua, aunque habitualmente en concentraciones bajas.

Arrastres de lluvia: la lluvia arrastra las partículas y fluidos presentes en las superficies expuestas como: hollín, polvo de ladrillo y cemento, esporas y polvo orgánico e inorgánico de los tejados, partículas sólidas, polvo, hidrocarburos de las vías públicas, restos de vegetales, etc.

Infiltraciones: A veces muchas zonas, por la composición del suelo permiten el paso de las aguas de arrastre hacia los acuíferos, con el consiguiente peligro de contaminación.

2.4.1.2.2 Aguas residuales industriales

La organización mundial de la salud (1997) indica que; algunas sustancias químicas que contaminan el agua de consumo son procedentes de fuentes industriales o de núcleos habitados que cuentan con otras fuentes primarias. Cuando la ubicación de retretes y fosas sépticas es inadecuada, pueden contaminar las fuentes de agua de consumo con nitrato. Para determinar el potencial contaminante de sustancias químicas procedentes de actividades industriales y núcleos habitados, es preciso evaluar las actividades realizadas en la cuenca de captación y el riesgo de que

determinados contaminantes puedan alcanzar las fuentes de agua. El método principal para prevenir este tipo de contaminación es evitarla mediante el fomento de prácticas correctas. No obstante, si se ha producido contaminación, puede ser necesario considerar el uso de tratamientos.

Tabla 3: Sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados para las que no se han establecido valores de referencia

Sustancia	Motivo por el que no se ha establecido un valor de referencia
1,3-Diclorobenceno	Los datos toxicológicos son insuficientes para poder calcular un valor de referencia basado en efectos sobre la salud.
1,1-Dicloroetano	La base de datos sobre toxicidad y poder cancerígeno es muy limitada.
1,1-Dicloroetano	Se presenta en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos
Di(2-etilhexil)adipato	Se presenta en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos.
Hexaclorobenceno	Se presenta en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos.
Metil-terc-butil-éter (MTBE)	Cualquier valor de referencia que pudiera calcularse sería significativamente mayor que las concentraciones a las que el MTBE se detectaría por el olor
Monoclorobenceno	Se presenta en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos; además, el valor de referencia basado en efectos sobre la salud sería mucho mayor que el umbral gustativo y olfativo mínimo descrito.
Productos derivados del petróleo	En la mayoría de los casos, su sabor y olor serían detectables a concentraciones menores que las que serían peligrosas para la salud, sobre todo por exposición a corto plazo.
Triclorobencenos (total)	Se presentan en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos; además, el valor de referencia basado en efectos sobre la salud sería mayor que el umbral olfativo mínimo descrito.
1,1,1-Tricloroetano	Se presenta en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos.

Fuente: Guías para la calidad del agua potable OMS, 1997.

Tabla 4: Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados cuya presencia en el agua de consumo puede afectar a la salud

Sustancias inorgánicas	Valor de referencia (mg/l)	Observaciones
Cadmio	0,003	
Cianuro	0,07	
Mercurio	0,006	Para mercurio inorgánico
Sustancias orgánicas	Valor de referencia^a (ug/l)	Observaciones
Benceno	10 ^b	
Tetracloruro de carbono	4	
Di(2-etilhexil)ftalato	8	
1,2-Diclorobenceno	1000 (C)	
1,4-Diclorobenceno	300 (C)	
1,2-Dicloroetano	30 ^b	
1,2-Dicloroetano	50	
Diclorometano	20	
1,4-Dioxano	50 ^b	
Ácido edético (EDTA)	600	Aplicable al ácido libre
Etilbenceno	300 (C)	
Hexaclorobutadieno	0,6	
Ácido nitrilotriacético (ANT)	200	
Pentaclorofenol	9 ^b (P)	
Estireno	20 (C)	
Tetracloroetano	40	
Tolueno	700 (C)	
Tricloroetano	20 (P)	
Xilenos	500 (C)	

Fuente: Fuente: Guías para la calidad del agua potable OMS, 1997.

P = valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero hay escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud; C = concentraciones de la sustancia iguales o menores que el valor de referencia basado en efectos sobre la salud pueden afectar al aspecto, sabor u olor del agua, dando lugar a reclamos de los consumidores.

El valor de referencia de las sustancias sin umbral es la concentración en el agua de consumo asociada a un valor máximo del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10⁻⁵ (un caso adicional de cáncer por cada 100 000 personas que ingieren agua de consumo con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con valores máximos del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10⁻⁴ y 10⁻⁶ pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

Según el Autor Romero (2004) conector en temas ambientales menciona que: “Los residuos industriales están formados por vertidos líquidos que constituyen un riesgo inminente para el ambiente por la carga contaminante que poseen”.

Para conseguir una mejor gestión de residuos, es necesario realizar una clasificación de acuerdo a sus propiedades y naturaleza, de estas dependerá el sistema de tratamiento a emplearse, aunque es muy difícil hacer una clasificación minuciosa debido a la gran variedad y cantidad de industrias existentes, por lo que haciendo una clasificación muy general de estos residuos tenemos:

Residuos industriales líquidos con constituyentes minerales: “Contienen fundamentalmente metales, complejos, compuestos halogenados y una serie de sustancias inorgánicas que tienen un elevado índice de toxicidad y peligrosidad. Se pueden encontrar en industrias metalúrgicas, mineras, petroquímicas, etc.”

Residuos industriales líquidos con constituyentes orgánicos: “Como la celulosa, los taninos, los compuestos azufrados y clorados, etc., que son muy difíciles de biodegradar, y es necesario un estricto control para su tratamiento. Existen en la industria farmacéutica y alimentaria”.

Residuos industriales líquidos con constituyentes minerales y orgánicos: “Son resultado de los dos anteriores, y además de ser sustancias tóxicas y peligrosas, necesitan un sistema mixto de tratamiento”.

Residuos líquidos industriales con constituyentes de naturaleza radiactiva: Son muy especiales, y se localizan en determinadas actividades industriales. Por ser radioactivos presentan graves problemas, ya sea por su peligrosidad o por su persistencia. Estos efluentes se producen por el empleo de materiales radioactivos como reactores nucleares, laboratorios, técnicas médicas, etc.

Residuos líquidos industriales que producen contaminación térmica: “Son aquellos que una vez incorporados al receptor, provocan un cambio de temperatura; es un peligro para la fauna y flora acuática”.

2.4.1.3 Fitorremediación

Los expertos ambientales como Valderrama y colaboradores (s/f) traen acotación lo siguiente: “Los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas son una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales, debido a sus menores costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales”.

Sin embargo, su papel en la remoción de patógenos no es del todo claro. Se han obtenido porcentajes entre el 80 y el 99% de remoción de coliformes fecales y *E. coli* en algunos estudios, pero en otros se ha encontrado que la eficiencia de sistemas con

macrófitas (plantas acuáticas) es menor a la de las lagunas de estabilización convencionales.

La remoción en sistemas con macrófitas se atribuye a procesos de sedimentación, adsorción y remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica. Sin embargo, no es clara la incidencia de las variables fisicoquímicas asociadas a la presencia de las plantas. Por otra parte, los indicadores virales prácticamente no han sido evaluados en estudios con macrófitas, a pesar de que se consideran más adecuados para determinar la calidad del agua que los bacterianos.

2.4.1.3.1 Jacinto de agua o lechuguín (*Eichhornia crassipes*)

Estudios realizados con metales pesados y plantas acuáticas de Benítez (2008) indica que: El sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes consiste en mantener ciertos tipos de plantas sobre la superficie del agua a tratar con el fin de que las bacterias nitrificantes que se encuentran en las raíces flotantes y el mismo proceso fotosintético de la planta purifiquen el medio.

Entre la gran cantidad de plantas acuáticas existentes se han determinado dos para este tipo de tratamiento:

Eichhornia crassipes (Lechuguín, jacinto de agua o lirio acuático)
Lemna spp. *Spirodela spp.*, *Wolfia spp.* (Lenteja de agua).

El lechuguín es una especie flotante de raíces sumergidas, carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo y forma una vejiga llena de aire mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática. Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes negro violáceo cuando son adultas.

Luz: necesita para su desarrollo la luz del sol o semisombra. Requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa.

Temperatura: su desarrollo requiere en invierno que la planta esté protegida de climas fríos y temperaturas heladas, manteniéndola siempre en agua.

Se cultiva a una temperatura entre 20-30°C. No resiste los inviernos fríos (hay que mantenerla entre 15-18°C en contenedores con una profundidad de al menos 20 cm y una capa delgada de turba en el fondo). Puede rebrotar en primavera si se hiela. Necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación.

Reproducción: Esta planta se multiplica mediante división de los rizomas. Esta especie está considerada entre las cien especies más invasoras del mundo por la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales – UICN. Es por ello que hoy en día se no se aconseja su utilización, para evitar que se siga extendiendo esta plaga a los ríos, por imprudencia en su uso.

“Estudios experimentales con lechuguín en plantas pilotos de piscinas de tratamiento de aguas residuales arrojaron resultados favorables en la disminución de sulfatos, malos olores, y molestias causados por insectos”.

Mientras que otros estudios en piscinas de degradación de aguas domésticas residuales utilizando Jacinto de agua se obtuvo un 17 % más de eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno que en piscinas de oxidación, estos tratamientos sólo se pudieron llevar a cabo en pequeñas zonas rurales (Ávila. Et al, 2000).

Fiallos (2011), en su estudio en la estación “El Peral” para aguas servidas domiciliarias ubicada en la ciudad de Ambato en el sector de Ficoa - La Delicia perteneciente a EMAPA-A indica que, al realizar la innovación biológica con dos estanques de agua que contienen “lechuguín” (*Eichhornia crassipes*) y el otro “carrizo” (*Phragmites australis*), obtuvo mejora significativa en el tratamiento de agua servida en parámetros tales como DBO, DQO, sólidos disueltos totales, nitrógeno y fósforo, que constituían la parte importante de la carga contaminante, con los resultados obtenidos en la investigación se evidencia el decremento de la concentración de los contaminantes especialmente en el caso del estanque con “lechuguín” puesto que el vegetal se adaptó al medio sin problema.

Según Pozo (2012) en su estudio de fitoremediación mediante humedales vegetales con lechuguínes y carrizos en el canal de riego Latacunga – Salcedo – Ambato (Río Cutuchi) con alta carga de coliformes fecales y totales indica que, en el cuarto día que permanece en retención, el agua contaminada en el humedal vegetal pasa los parámetros planteados hacia los límites permisibles al ser comparados como indica el TULAS aptos para ser utilizados como aguas de regadío.

Un estudio de combinación biológica de dos especies de plantas acuáticas como son el “Lechuguín” y “Carrizo” en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento “El Peral” EP-EMAPA - Ambato en ejecución por Viteri (2013), espera obtener buenos resultados en la aplicación de esta técnica como continuación de la investigación realizada por Fiallos (2011), dando tratamiento a las aguas servidas domiciliarias que llegan a la estación.

En la Universidad Técnica de Ambato se realizan trabajos de servicio comunitario para la vinculación con la sociedad. En el año 2012 entre los meses de marzo y agosto se ejecutó la investigación de “Calificación de la calidad del agua de la acequia Albornoz-Naranjo (Pelileo, Tungurahua) e instalación de dispositivos ecológicos piloto para su descontaminación”. El caudal de este cuerpo de agua dulce es utilizado para actividades como riego de cultivos, agua para ganado, lavado de ropa y hortalizas, lavado de utensilios de cocina, aseo personal y consumo humano y fue evaluado en época de lluvia y en época seca.

En los primeros análisis se conoce que existe presencia de elevados niveles de bacterias coliformes totales y coliformes fecales en el agua de la acequia Albornoz-

Naranja, fuera de los límites permisibles señalados en la legislación ambiental nacional e internacional para agua de consumo humano e inclusive están fuera de los límites permisibles para aguas de uso y riego agrícola, para aguas de uso pecuario, para aguas de descarga a un cuerpo de agua dulce y para aguas para fines recreativos.

Existe también presencia de sustancias de carácter químico en el agua de la acequia. Los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles por la legislación ambiental para agua de consumo humano y aún para ciertos tipos de aguas son: cromo total, sulfuros (ciertas legislaciones internacionales), hierro, fenoles, amoníaco, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos. Se propone la construcción de tres estanques de un metro de profundidad para la formación de humedales vegetales, contribuyendo de esta manera a la descontaminación del agua, dicha alternativa ecológica no se lleva a cabo por la falta de consenso entre las autoridades del sector (Velasteguí, 2012).

Tabla 5: Reseña de la planta (*Eichhornia crassipes*),

Taxonomía	
Reino	Vegetal
División	<i>Spermatophytas.</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Monocotyledoneae (1 cotiledón)</i>
Subclase	<i>Líhidae</i>
Orden	Pontederiales
Familia	<i>Pontederiaceae</i>
Género	<i>Eichornia</i>
Especie	<i>Crassipes</i>

Fuente: Ávila. Et al, 2000.

Figura 2: Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)



Fuente: Cifuentes, 2008.

Así como las algas, la hierba del lecho del río y demás plantas acuáticas, el jacinto de agua tiene un alto contenido de agua entre 93 y 95%. Esta composición varía dependiendo del medio en el cual crezca la planta. 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. Los principales mecanismos de depuración en los que participan las macrófitas y que actúan sobre las aguas residuales industriales son los siguientes:

Eliminación de sólidos en suspensión: Los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas.

Eliminación de materia orgánica: La eliminación de la materia orgánica del agua es realizada por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aireación muy especializado. Una parte de la aireación del agua también se realiza por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación.

Eliminación de nitrógeno: El nitrógeno se elimina por diversos procesos: absorción directa por la planta y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación, desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias.

Eliminación de microorganismos patógenos: Por filtración y absorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en los rayos solares.

Trazas de Metales: Tienen una alta afinidad por adsorción y complejación con materia orgánica y pueden ser acumulados en los humedales. También existen transformaciones microbianas y asimilación por la planta mediante la raíz, la cual atrapa y fija entre sus tejidos concentraciones de metal de hasta de 100 mil veces superiores a las del agua que las rodea (Benítez, 2008).

2.4.1.4 Microorganismos eficientes en aguas residuales

Ridrpiguez (2008) indica que: los microorganismos eficientes (EM) fueron desarrollados en la década de los 70's, por el profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. Teóricamente este producto comercial se encuentra conformado esencialmente por tres diferentes tipos de organismos: levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias fotosintéticas, las cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos de la ingeniería, según sus promotores. Inicialmente este producto fue desarrollado para el mejoramiento de suelos y el tratamiento de residuos agropecuarios, sin embargo en los últimos años se ha intentado extrapolar su aplicación al campo del tratamiento de aguas.

“Todos los microorganismos de EM tienen un papel importante, pero las bacterias fototróficas constituyen el eje central de la actividad EM, debido a que son el sostén a las actividades de los otros microorganismos”.

Bacterias fototróficas (*Rhodopseudomonas spp*): sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y gases nocivos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuente de energía. Estas sustancias generadas favorecen la presencia de micorrizas (plantas en asociación simbiótica con hongos), el crecimiento de las plantas y de otros microorganismos útiles como aquellos que fijan el nitrógeno.

Bacterias acidolácticas (*Lactobacillus spp*): promueven la fermentación y descomposición de materiales como lignina y celulosa, suprimen patógenos por desplazamiento y por efecto del ácido láctico que generan.

Levaduras (*Saccharomyces spp*): sintetizan sustancias antimicrobiales y sustratos útiles que favorecen la presencia de los microorganismos contenidos en los EM.

Desde hace más de 10 años, Agearth-Ecuador ha trabajado de manera continua con EM™ para tratamiento de piscinas de producción de camarón. Basados en estas experiencias, Agearth-Ecuador se encuentra liderando un proyecto para tratamiento de aguas domésticas en el parte norte de la ciudad de Guayaquil.

La planta de tratamiento de aguas de la empresa Interagua recibe las aguas servidas de dos ciudadelas urbanas. El canal de entrada al sistema tiene un caudal de 6.000 m³ por día con niveles de DBO que sobrepasan los 2.000 mg/L. En esta planta de tratamiento se emplea un sistema de lagos sépticos alineados en serie con tres etapas de proceso. La primera etapa consiste en dos lagunas de aireación. Estas tienen una extensión de 16.000 m² aproximadamente y utilizan dos aireadores industriales.

La segunda etapa consiste en dos lagunas facultativas de 43.000 m² aproximadamente. La etapa final consiste en dos lagunas de maduración de aproximadamente 3 hectáreas. Una de las desventajas de estos sistemas es el requerimiento de mayores extensiones de tierras debido al alto volumen de líquido que manejan. La generación de gases ofensivos, característico de este sistema, representa un problema habitacional muy grande y origina los altos volúmenes de reclamos y quejas por parte de la población aledaña.

El programa actual de manejo incorpora el uso de la tecnología EM™ en la segunda etapa del proceso. En tan solo 3 semanas, los malos olores provenientes de las lagunas facultativas y de maduración disminuyeron considerablemente. Después de 7 semanas, no solamente los reclamos por parte de los habitantes cesaron, sino también la calidad del agua después de la última de etapa presentó valores de DBO de 40 mg/L, una considerable disminución del valor de 200 mg/L obtenido antes de incorporar la tecnología EM™.

Este producto es comercializado en Ecuador por la asociación de graduados de la universidad de la Earth de Costa Rica, Guayaquil-Ecuador (Av. de las Américas 103, centro de negocios el terminal bloque D locales 51 y 52, teléfono: (593) 4 6017110), institución privada internacional sin fines de lucro, dedicada a la educación en ciencias agrícolas y en recursos naturales, para contribuir al desarrollo sostenible de la región tropical húmeda (Agearth Ecuador, 2013).

2.4.2 Marco Teórico de la Variable Dependiente:

2.4.2.1 Tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias.

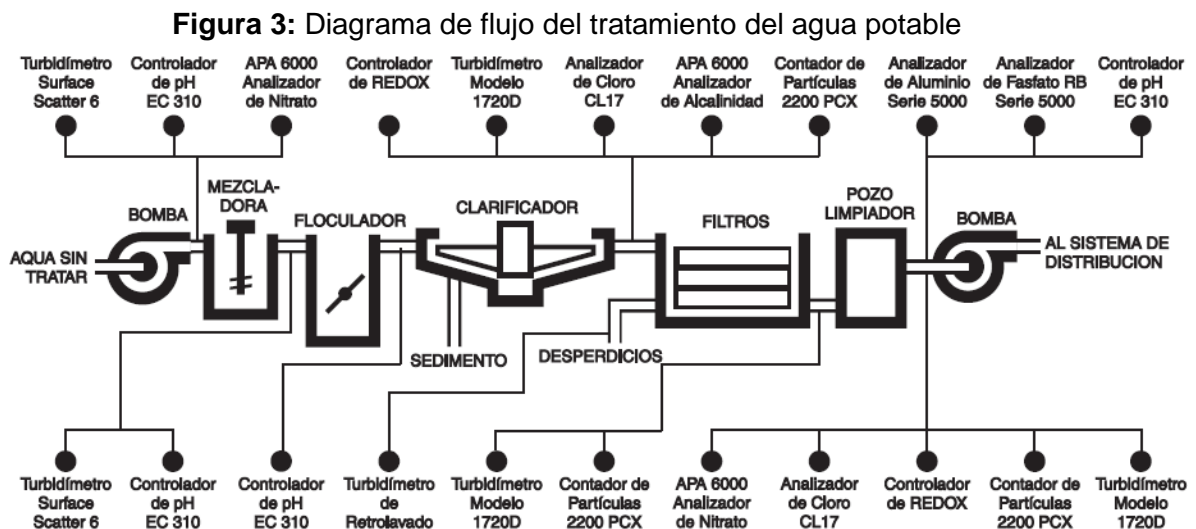
2.4.2.1.1 Agua sin tratar

Las impurezas del agua varían según la fuente de suministro. Las aguas superficiales generalmente presentan alto contenido de sedimento y oxígeno disuelto, pero bajo contenido de dureza y sólidos disueltos. Las aguas subterráneas a menudo presentan alto contenido de dióxido de carbono, dureza y sólidos totalmente disueltos, pero bajo contenido de sólidos en suspensión.

Independientemente del proceso de tratamiento general utilizado para eliminar las impurezas, los primeros pasos por lo general son la coagulación y la clarificación.

La combinación de un coagulante, tal como el alumbre y un refuerzo de coagulante producen un flujo denso para atrapar los sólidos en suspensión y hace que se asienten. En la mayoría de las aplicaciones, es necesario un pre-tratamiento con un oxidante fuerte (generalmente cloro) para destruir los contaminantes microbiológicos y materiales oxidantes que puedan producir problemas en el gusto u olor. Resulta mejor mantener los niveles adecuados de cloro mediante analizadores automáticos unidos a los sistemas de alimentación química.

La dureza, el pH y la turbidez del agua sin tratar y tratada en forma química también deben controlarse cuidadosamente para verificar la eficiencia del tratamiento. A menudo la turbidez del agua sin tratar se monitorea con un instrumento de amplio rango para asegurar la dosis correcta de los productos químicos de coagulación. Los monitoreos que midan pH permitirán controlar el agregado de cal o ácido, mientras que el monitoreo de la dureza en la entrada de agua sin tratar indicará los requisitos para suavizar el agua.



Fuente: Hach Company, 2000.

2.4.2.1.2 Agua filtrada y aguas residuales

Agua filtrada

La turbidez es un parámetro de control importante durante el proceso de filtración. Por ejemplo, una operación crítica es el “retro lavado”, en la cual se limpian los filtros sucios bombeando grandes volúmenes de agua final a través de los filtros en dirección inversa, el retro lavado podía controlarse únicamente con cronómetros de intervalos preestablecidos o según el criterio del operador. Actualmente, los operadores pueden utilizar el turbidímetro de retro lavado para determinar si los sólidos filtrados han sido eliminados y si se puede reanudar la filtración.

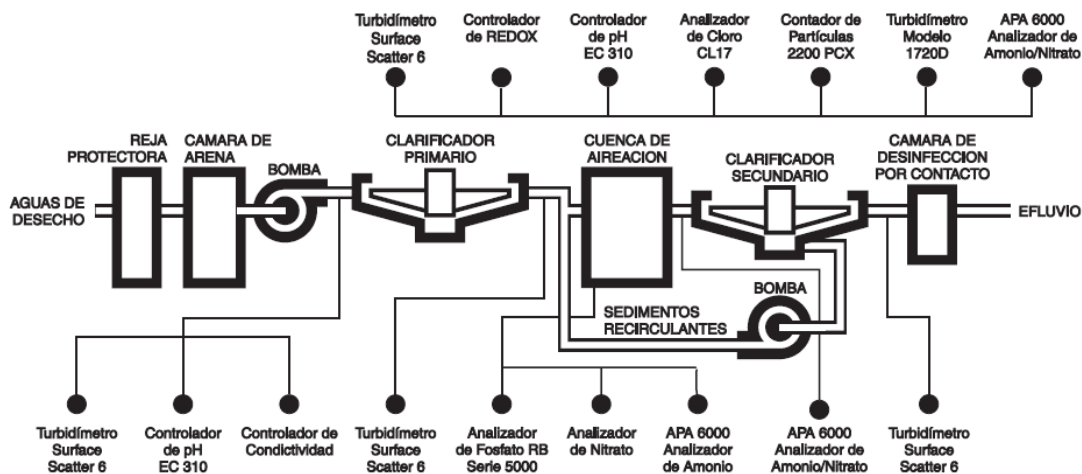
Después de la filtración, los parámetros tales como claridad, gusto, olor, dureza y actividad bacteriana deben controlarse para asegurar la potabilidad y seguridad del agua. Asimismo, el monitoreo de los componentes tales como el hierro, el fluoruro y el manganeso ayudarán a conservar la calidad estética.

Aguas residuales

El pH, la conductividad y la alcalinidad de las aguas residuales de entrada constituyen parámetros importantes en el tratamiento biológico de desperdicios. Por lo general, el pH del influente se monitorea en forma continua. La conductividad puede medirse si una planta está sujeta a ciertos tipos de desperdicios. Y, las plantas sujetas a desperdicios “sépticos” pueden requerir cloración del influente.

En toda la planta de tratamiento de desperdicios, la turbidez es un parámetro importante para el control del proceso. Las concentraciones de lodo, blancos fáciles para el control automático, pueden monitorearse determinando su densidad u opacidad. En los casos donde se utiliza un tratamiento avanzado, la cantidad de tratamiento químico requerida puede determinarse mediante monitoreo en línea de la turbidez del efluente secundario. Finalmente, el efluente final debe monitorearse en forma continua para establecer la turbidez y el contenido de cloro, oxígeno disuelto y en muchos casos, fosfato (Hach Company, 2000)

Figura 4: Diagrama de flujo del tratamiento de las aguas residuales



Fuente: Hach Company, 2000.

2.4.2.2 Contaminación a cuerpos de agua dulce

El agua dulce es vital para la vida humana y el bienestar económico. La sociedad extrae grandes cantidades de agua de los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos subterráneos para abastecer los requerimientos de las ciudades, el campo y la industria. Nuestra necesidad de agua dulce nos hizo pasar por alto los beneficios igualmente vitales de mantener el agua en su curso natural conservando los ecosistemas de agua dulce saludables (Tópicos en ecología, 2003).

Margalef (1991) nos indica que: los factores contaminantes son diversos y pueden agruparse de la siguiente forma:

Sustancias orgánicas biodegradables: organismos en descomposición, heces humanas y de animales.

Sustancias orgánicas tóxicas: son producidas por el hombre, y en general no son biodegradables. Ej. biocidas, anilinas, hidrocarburos, etc.

Sustancias inorgánicas tóxicas: originadas por la industria y la minería. Ej. metales pesados, dispersantes (en la explotación petrolera), etc.

Sólidos en suspensión: sedimentos que llegan por escorrentía provenientes de la construcción, industria cerámica, dragado, etc.

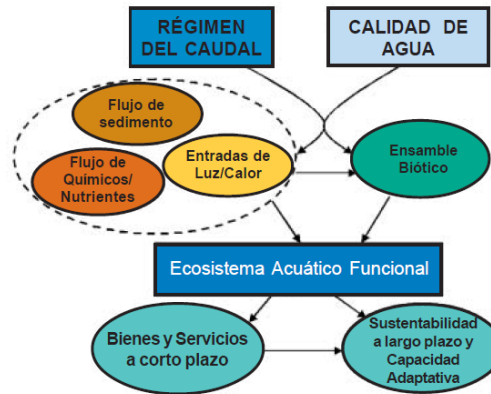
Agentes patógenos: desechos provenientes de unidades sanitarias no esterilizados.

Térmicos: vertido de agua a temperaturas superiores a las del cuerpo de agua receptor. Ej. en la industria, centrales nucleares, explotación de petróleo, etc.

Agentes radiactivos: provenientes de la energía nuclear o tecnologías afines.

Las vías por las cuales estos factores pueden llegar a las aguas continentales son, a través de la atmósfera (Ej. plomo y mercurio), por precipitación (lluvia ácida), por entrada de cursos de agua tributarios, por aguas subterráneas, por escorrentía, o por liberación directa del hombre al cuerpo de agua.

Figura 5: Modelo conceptual de las principales fuerzas que influyen en los ecosistemas de agua dulce.



Fuente: Tópicos en Ecología, 2003.

2.4.2.3 Mejora de la calidad del agua

Para llevar un control de calidad en los tratamientos en las aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias de control rápido se sugiere los siguientes parámetros analíticos:

pH (potencial de hidrógeno)

El término pH es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. Expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o alcalinidad total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos.

Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto (OD), la actividad biológica y el valor de saturación con carbono de calcio se relacionan con la temperatura.

Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización (abundancia anormal de nutrientes).

Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$

Es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por esta razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

Oxígeno disuelto (OD) mg/l

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave de la contaminación en la muestra y control del proceso de tratamiento en aguas residuales puesto que determina las condiciones aeróbicas o anaeróbicas. En aguas de consumo, la mínima cantidad de oxígeno ($> 4\text{mg}/\text{L}$) es esencial para prevenir la corrosión de las tuberías. En esta práctica realizaremos la determinación de oxígeno disuelto a través de un método volumétrico (modificación del método de Winkler).

Sólidos

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad del material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde agua potable hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento.

Sólidos totales disueltos STD mg/l

Los Sólidos Totales Disueltos (STD) constituyen una medida de la parte de sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un poro nominal de $2,0\ \mu\text{m}$ (o menos) en condiciones específicas. Esta medida proporciona otra indicación (como la conductividad) de la salinidad en las descargas de la industria petrolera.

Sólidos sedimentables ml/l

La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono de Imhoff de un litro de volumen y registrando el volumen de material sedimentado en el cono; al cabo de una hora en ml/L .

Sólidos totales mg/l

Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Para su determinación, la muestra se evapora en una cazuela pesada con anterioridad, preferentemente de platino, sobre un baño de María, y luego se seca a 103 - 105°C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total.

Sólidos suspendidos mg/l

Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol previamente pesado (residuo no filtrable o material no dispuesto) que se seca a 103 - 105°C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrable.

Sólidos disueltos mg/l

Conocido también como residuo filtrable; Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa y el residuo de la evaporación se seca a 103 - 105°C, el incremento de peso sobre el crisol vacío representa los sólidos disueltos o residuo filtrable.

DQO (demanda química de oxígeno) mg/l

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias 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 está 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. En la técnica, el papel del catalizador consiste en facilitar la oxidación, pero ésta no es total en presencia de compuestos orgánicos estables (urea, piridina, derivados aromáticos, etc.). La fiabilidad de la técnica es muy dudosa en presencia de cloruros.

DBO (demanda bioquímica de oxígeno) mg/l

La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas en un periodo de cinco días a 20°C en la oxidación de materia orgánica para obtener CO₂ y H₂O.

Turbiedad NTU

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica y microorganismos.

Tensoactivos (Detergentes)

Compuestos también llamados surfactantes o agentes superficiales activos, usados como sustitutos del jabón, con un 20 a 30 % de agente superficial activo y 70 a 80 % de un llenante. En aguas residuales pueden contener entre 1 y 20 mg/l, que se regulan por sustancias activas al azul de metileno (SAAM) para prevenir problemas de espumas, sabor, olor y eutrofización (Romero, 2002).

Grupo coliforme

Incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas, los cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un periodo de 48 horas a 35 - 37°C.

Coliformes fecales UFC/100ml

Son microorganismos con una estructura parecida a una bacteria conocida como *E.coli* y se transmite por medio de excrementos.

Figura 6: Factores que influyen en la calidad del agua



Fuente: Chang, J. s/f.

2.5 Hipótesis

Hipótesis nula

Ho: No existirá eficacia con la Innovación e Implementación biológica en la planta de Puerto Arturo – EMAPA-A para el tratamiento de aguas contaminadas.

2.6 Señalamiento de variables

2.6.1 Variable Independiente

Innovación e Implementación biológica en la estación Puerto Arturo.

2.6.2 Variable Dependiente

Tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias.

CAPITULO III

METODOLOGIA

La investigación fue de carácter cuantitativo ya que estuvo orientada a resultados y análisis de parámetros físico químicos y microbiológicos en laboratorio. Fue también cualitativa debido a que requirió la comprobación de hipótesis haciendo énfasis en las técnicas aplicadas para su verificación.

3.1 Modalidad básica de la investigación

Las modalidades de investigación empleados fueron de campo, documental – bibliográfica y experimental o de laboratorio.

3.1.1 Investigación de campo.

Es el estudio sistemático de los hechos en el lugar en que se producen los acontecimientos, Sector de Puerto Arturo – Ambato.

En esta modalidad el investigador toma contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo con los objetivos de la investigación.

Herrera et. al. (s/f) en su libro tutoría de la investigación describe las modalidades de investigación empleadas en el estudio.

3.1.2 Investigación documental – bibliográfica

Tiene el propósito de detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos (fuentes primarias), o en libros, revistas, periódicos y otras publicaciones (fuentes secundarias).

3.1.3 Investigación Experimental o de Laboratorio

“Es el estudio en que se manipulan ciertas variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables dependientes, con el propósito de precisar la relación causa – efecto”.

“Todo experimento persigue objetivos de predicción y de control, en relación con las hipótesis puestas a prueba”.

3.2 Nivel o tipo de investigación

En el estudio se aplicó los siguientes tipos de investigación:

3.2.1 Exploratoria

Permite conseguir una perspectiva general del problema o situación, donde se identifican las posibles variables que intervienen y sus relaciones así como las fuentes

de información de problemas o situaciones similares y sus soluciones, en este caso en el tratamiento de las aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias analizando de esta manera la problemática de la contaminación ambiental.

3.2.2 Descriptiva

Busca especificar las propiedades importantes y relevantes del objeto de estudio evaluando los aspectos, dimensiones o componentes más relevantes a investigar que sirven para analizar cómo se manifiesta a través de la medición de uno o más características que requiera el estudio.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población en esta investigación fue las aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias que ingresan a la planta de tratamiento en el sector de Puerto Arturo – Ambato.

3.3.2 Muestra

Se procedió a tomar tres muestras antes de la implementación biológica y tres muestras después para un total de seis muestras en un periodo de 25 días. Cada muestra contuvo 4 litros de agua.

3.4 Operacionalización de variables

3.4.1 Variable Independiente

Innovación e Implementación biológica en la estación Puerto Arturo.

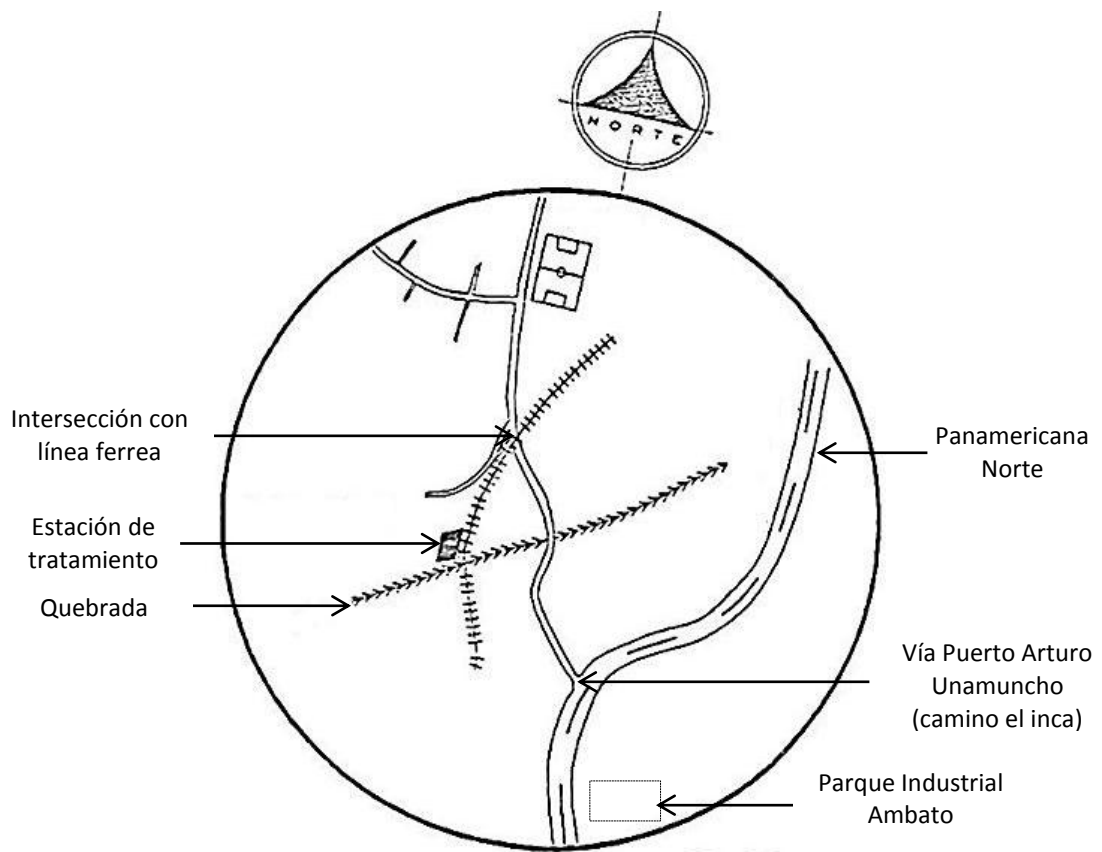
Tabla 6: Operacionalización de la variable independiente

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORIAS	INDICADORES	ITEM BASICO	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Innovación e Implementación biológica de una planta de tratamiento	Microorganismos eficientes y Fitorremediación	Aprovechamiento de los recursos naturales. Influye en el correcto funcionamiento del sistema	¿Por qué? ¿Cómo?	Aplicación de conocimientos Análisis Físico – químicos y microbiológicos

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2012

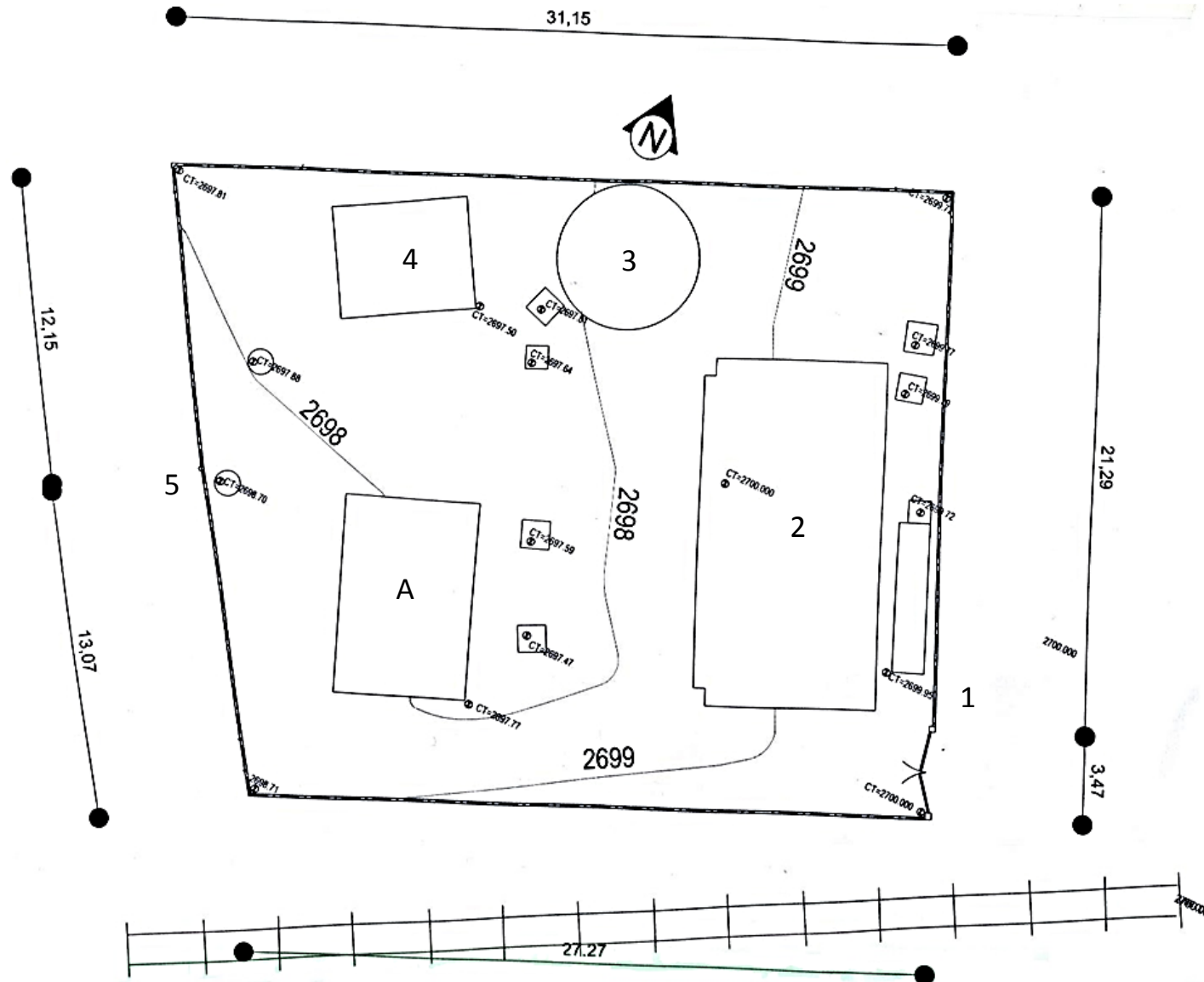
3.5 Plan de recolección de información

Figura 7: Ubicación de la planta de tratamiento en el sector de Puerto Arturo, Ambato.



Fuente: EMAPA, 2013.

Figura 8: Planta de tratamiento antes de la implementación ejecutada en la presente investigación



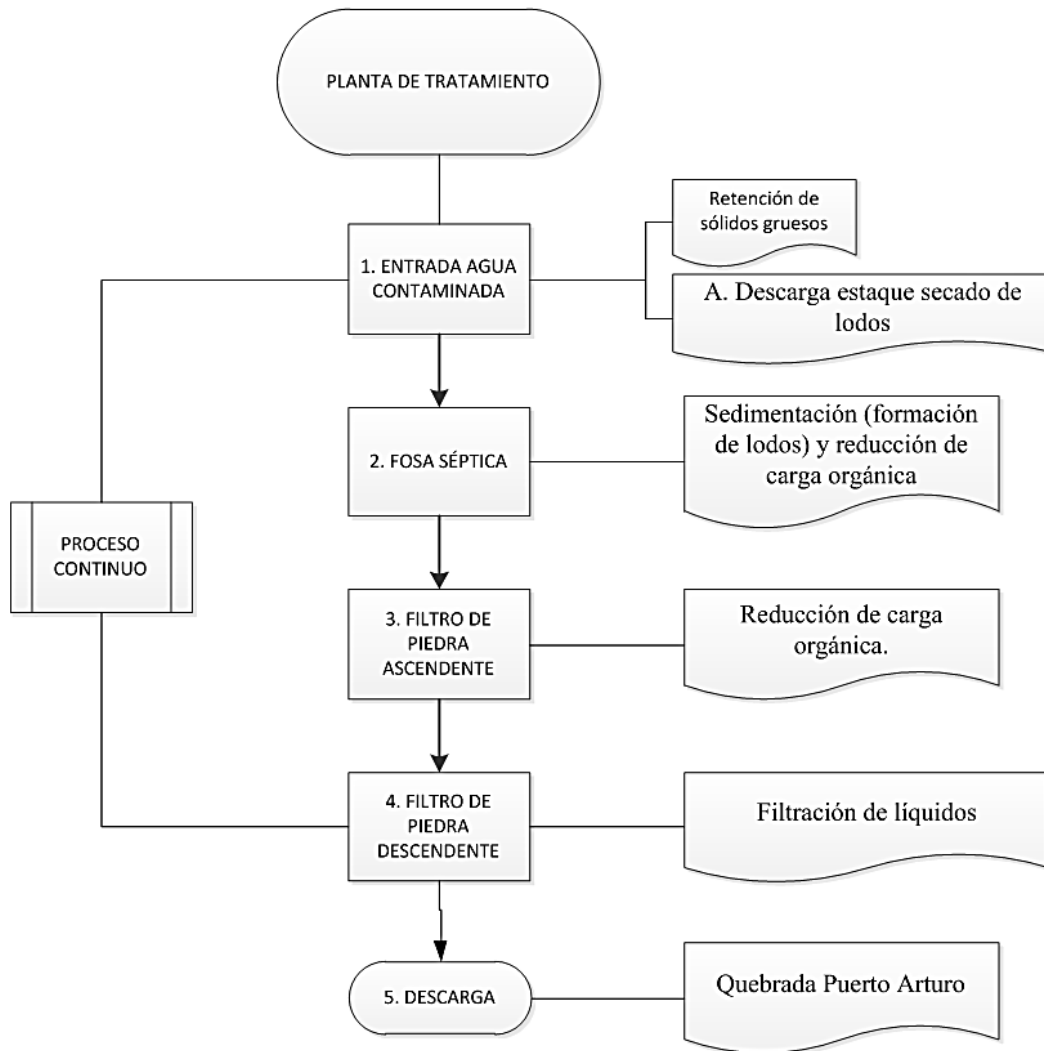
Fuente: EMAPA, 201

Tabla 6: Rotulación de la planta de tratamiento antes de la implementación ejecutada en la presente investigación

Código	Descripción
1	Canal de entrada
2	Fosa séptica
3	Filtro de piedra ascendente
4	Filtro de piedra descendente
5	Caja de salida
A	Secado de lodos

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Figura 9: Proceso de la planta de tratamiento antes de la implementación ejecutada en la presente investigación



Fuente: EMAPA, 2012.

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2012.

Canal de entrada agua contaminada

- **Aguas Residuales Frescas.-** son turbias, de color gris claro; su olor no es desagradable contiene material sólido en suspensión o flotando, se mantienen frescas mientras exista oxígeno necesario para la actividad de descomposición aeróbica.
- **Aguas Residuales Sépticas.-** con el pasar de las horas su color cambia de gris oscuro a gris negro, se produce un olor desagradable debido a descomposición de la materia orgánica; en este tipo de aguas el oxígeno se ha agotado totalmente y se encuentran en una descomposición anaeróbica, con la presencia de gases como el ácido sulfhídrico, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y el metano.
- **Aguas Residuales Estabilizadas.-** presentan pocos sólidos en suspensión, este tipo de aguas absorben el oxígeno de la atmósfera para su descomposición. Los sólidos presentes son relativamente inertes o son descompuestos muy lentamente.

Fosa séptica

Tiene como fin la retención de sólidos, la reducción de la carga orgánica y formación de lodos producto de la sedimentación.

Filtro de piedra ascendente

Se produce la retención de carga orgánica, por lo general sólidos en suspensión insolubles.

Filtro de piedra descendente

Retiene sólidos y carga orgánica de los líquidos antes de su devolución a la naturaleza.

Caja de salida

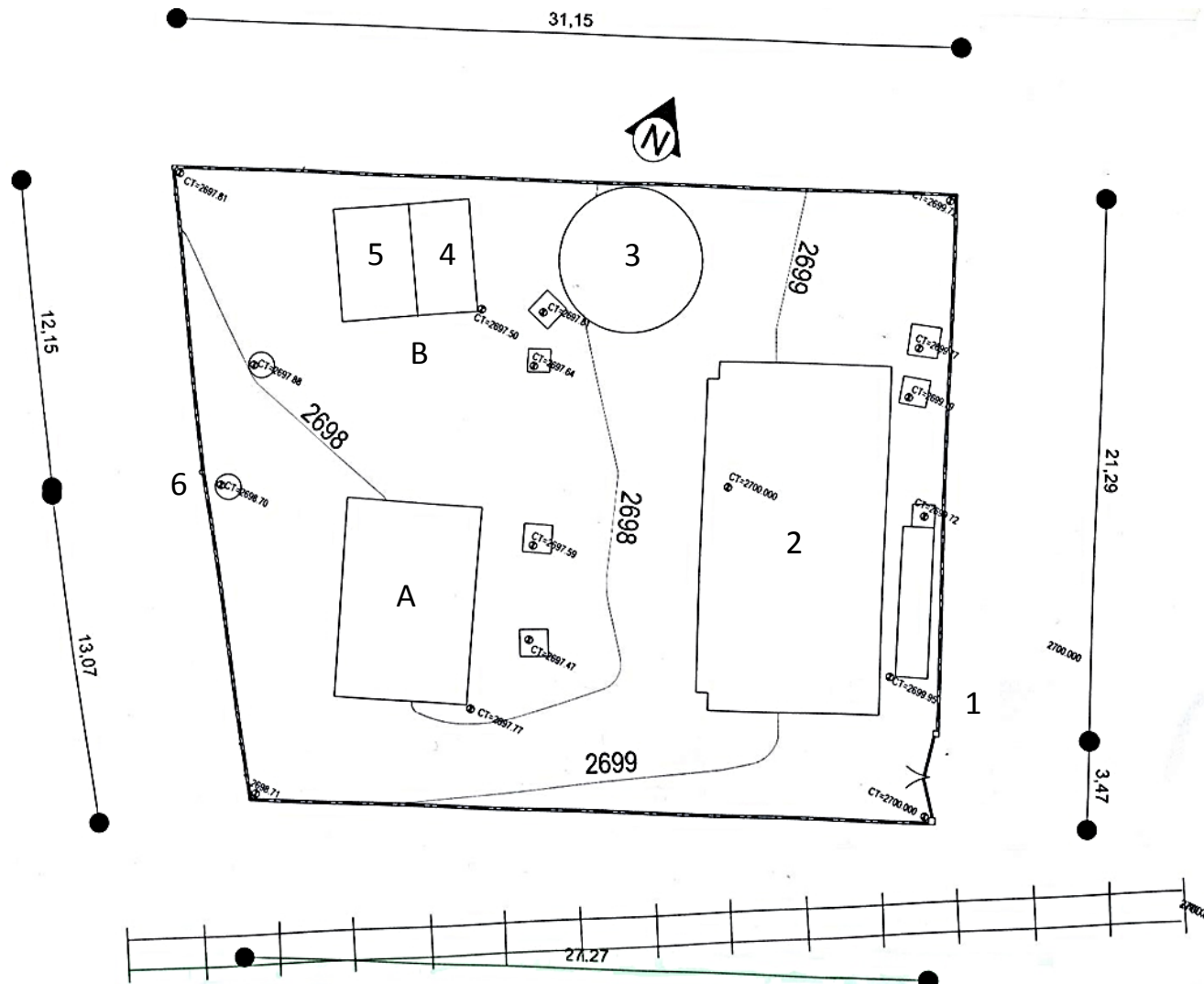
Se produce la descarga de caudal tratado hacia el cuerpo de agua dulce (Quebrada Puerto Arturo)

Secado de lodos

Sirve para realizar labores de mantenimiento (HGPT, 2012).

Diseño de la innovación e implementación biológica

Figura 10: Partes de la planta de tratamiento luego de la implementación ejecutada en la presente investigación



Fuente: EMAPA, 2012.

Tabla 7: Rotulación de la planta de tratamiento luego de la implementación ejecutada en la presente investigación

Código	Descripción
1	Canal de entrada agua contaminada
2	Tanque sedimentador con EM-1®
3	Filtro de piedra ascendente
4	Tanque con lechuguín
5	Flautas de oxigenación, arena de cuarzo y filtro de piedra descendente
6	Caja de salida
A	Secado de lodos
B	Tanque mixto (4 y 5)

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Innovación e implementación ejecutada en la presente investigación

Tanque sedimentador con EM-1®

Tiene como fin la retención de sólidos, la reducción de la carga orgánica y formación de lodos producto de la sedimentación que junto a los microorganismos eficientes (EM-1) producen una fermentación deteniendo de esta manera la putrefacción y mejorando la calidad del agua.

Tanque mixto con lechuguín, flautas de oxigenación, arena de cuarzo y filtro de piedra descendente.

Con la planta acuática *Eichhornia crassipes* conocida como lechuguín o jacinto de agua se produce la retención de sólidos y mejora en olores, las flautas de oxigenación esparcen el agua en todo el filtro de piedra con arena de cuarzo con el fin de brindar oxígeno al agua y retener la mayor cantidad de sólidos, metales y coliformes.

Remediación con microorganismos eficientes (EM)

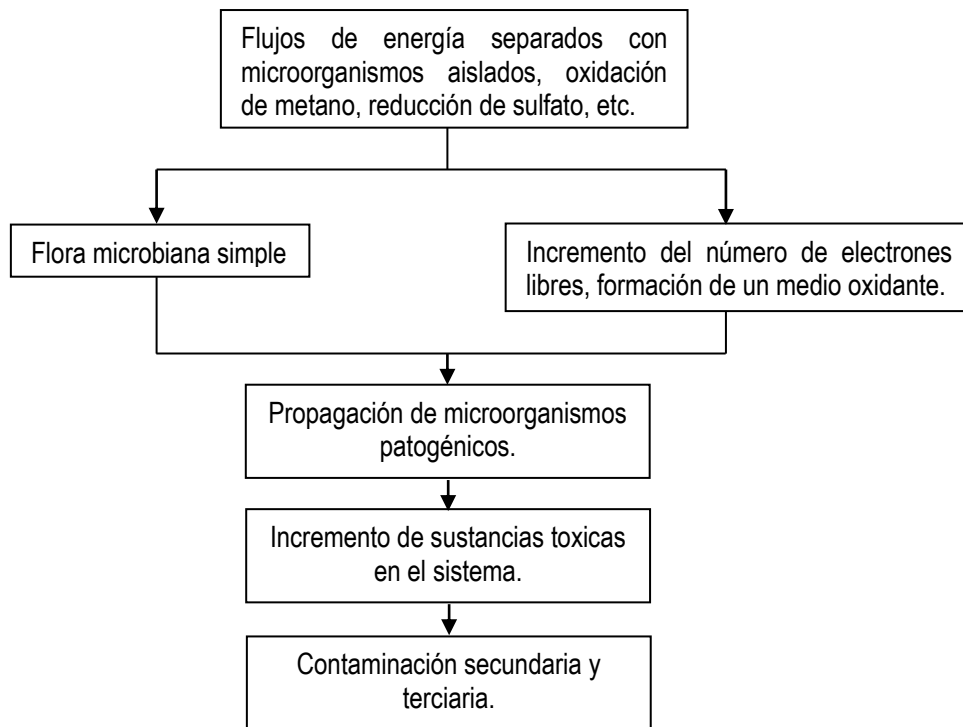
Se procedió a la aplicación de microorganismos eficientes (EM) como ayuda para el tratamiento de aguas contaminadas que demanda el sector y control de caudal para su funcionamiento. La fosa séptica ahora denominada tanque sedimentador (Figura 9) por su comportamiento y construcción, se produce una separación suave de agua y sólidos por gravedad (Fioravanti y Vega, 2003), tiene una capacidad de almacenamiento de 367.33 m³ (3.90 m * 13.75 m * 6.85 m).

Mecanismos de acción de los EM

En esta investigación se utilizó EM₁, este es un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, compuesto principalmente por bacterias procesadoras del ácido láctico, levaduras y bacterias fotosintéticas. Así, los microorganismos coexisten en un medio líquido y cuando son introducidos en un ambiente natural, los efectos de sus beneficios individuales son incrementados dentro de una dinámica sinérgica o de competencia con microorganismos patógenos según se requiera.

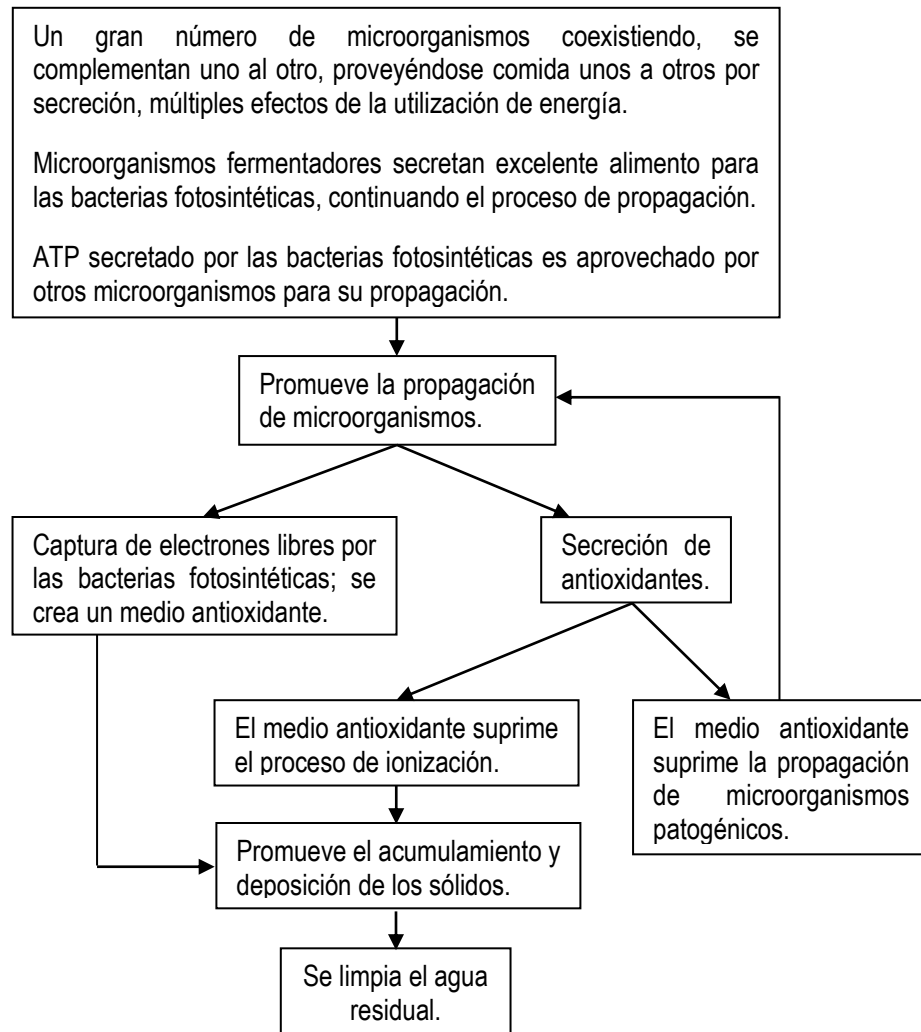
Cuando se aplica EM en un ambiente determinado y sus microorganismos fermentadores colonizan, se detiene el proceso de putrefacción, reemplazado por una intensa fermentación. Al detenerse la putrefacción, se suprime la generación de olores y muchos otros procesos ligados a la oxidación de materia orgánica. Además, algunos microorganismos de EM, como bacterias ácido lácticas, generan ácidos orgánicos como resultado de su metabolismo.

Figura 11: Proceso natural de oxidación desde la perspectiva de los flujos de energía



Fuente: Higa y Chinen adaptado por Fioravanti y Vega, 2003

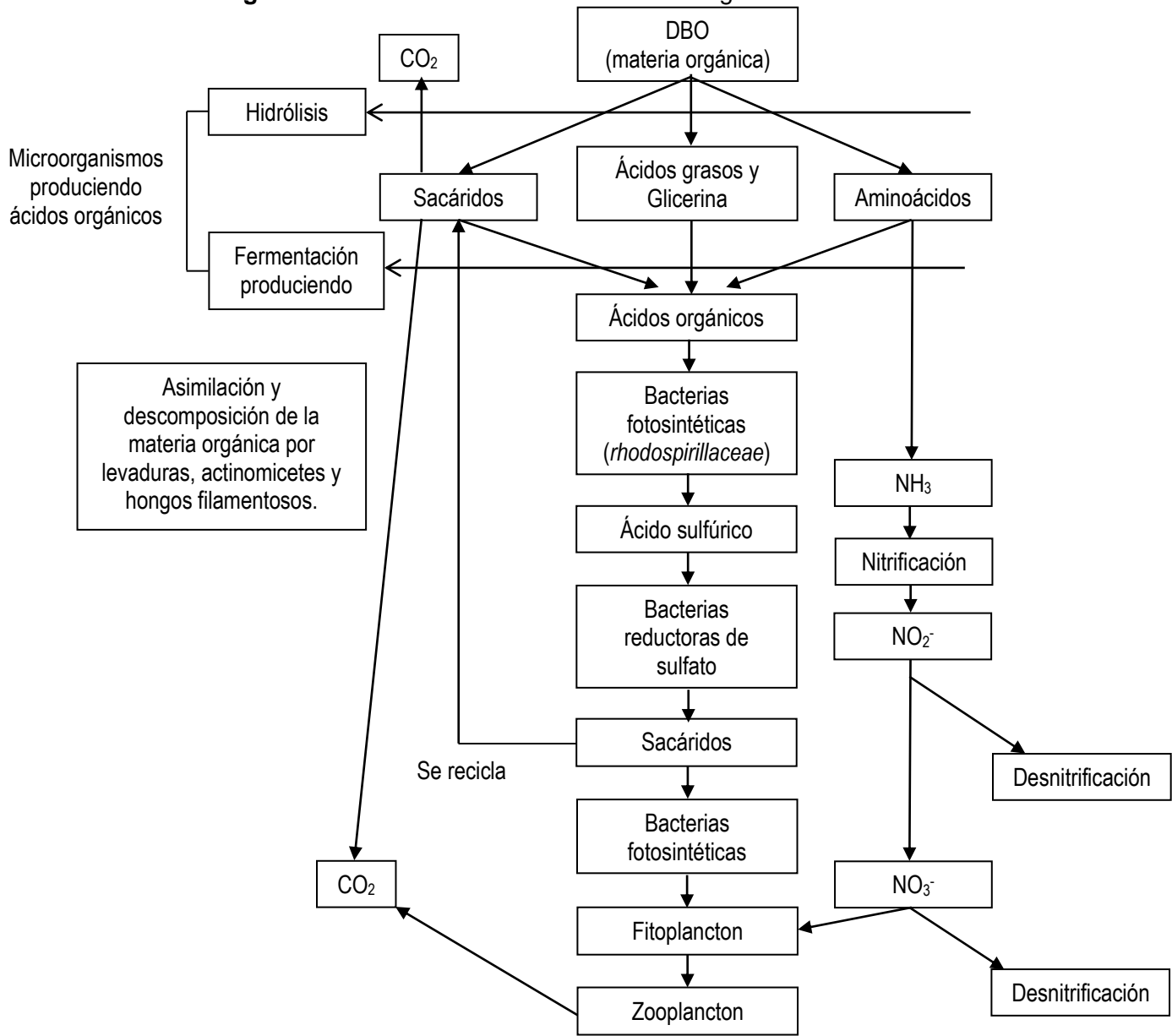
Figura 12: Proceso del EM desde la perspectiva de los flujos de energía



Fuente: Higa y Chinen adaptado por Fioravanti y Vega, 2003

El ciclo establecido por EM en el tratamiento de aguas residuales, a diferencia de un proceso de putrefacción, se concreta mediante la interacción de los diferentes tipos de microorganismos contenidos. Las bacterias fotosintéticas aprovechan en su metabolismo los ácidos orgánicos, liberando ácido sulfúrico que es aprovechado a su vez por bacterias reductoras de sulfatos. Estas últimas liberan sacáridos que junto al resto de materia orgánica (ácidos grasos, glicerina y amino ácidos), son degradados en el proceso de fermentación e hidrólisis inicial, llevado a cabo por los microorganismos productores de ácidos orgánicos. El efecto de EM en las aguas residuales cubre de manera completa los objetivos que plantea un proceso de estabilización de biosólidos crudos.

Figura 13: Mecanismo en el tratamiento de aguas residuales con EM



Fuente: Higa y Chinen adaptado por Fioravanti y Vega, 2003

Las bacterias fotosintéticas se colocan como la clave para la efectividad del tratamiento. Estas bacterias son anaeróbicas y para activarse requieren de luz o alimento (ácidos orgánicos). En el EM estas bacterias mantienen una relación sinérgica con las bacterias que son productoras de ácidos orgánicos (levaduras y productoras de ácido láctico), a partir de sacáridos, aminoácidos y grasas. Por lo tanto, estas dos clases de microorganismos producen el alimento de las bacterias fotosintéticas, explicando así porque el EM también funciona en medios donde no hay luz (Higa y Chinen, 1998) citado por Fioravanti y Vega, explican que los antioxidantes secretados por ciertos

microorganismos, y el ambiente antioxidante que resulta, promueven la separación de las fases líquida y sólida. La base de un proceso de depuración de aguas. Como lo hacen en la producción de abonos orgánicos y en general en el manejo de desechos orgánicos, los microorganismos eficaces tienen una acción fundamental en la reducción y/o eliminación de sólidos contenidos en las aguas negras.

Bellamy y Horsley (2002) citado por Fioravanti y Vega, reportan en sus resultados reducciones de hasta un 83% en la acumulación de lodos en uno de los tanques de sedimentación de una planta de tratamiento de aguas al incorporar la aplicación de EM. Consecuentemente, reportan una disminución del DBO y un aumento del Oxígeno Disuelto (OD) en los siguientes tanques del sistema depurador. Fioravanti y Vega citan a Widadana (1994) que expone en sus resultados reducciones de hasta 80% del DQO en tan sólo 11 días.

En cuanto a las características biológicas de las aguas contaminadas, los microorganismos eficaces tienen un efecto indiscutible precisamente por su calidad de “eficaces”. Su habilidad de acción y reproducción impide y/o limita el desarrollo de otros microorganismos (algunos patógenos) por competencia. Además, las condiciones antioxidantes antes explicadas, suprimen el desarrollo de microorganismos patogénicos (Higa y Chinen, 1998).

Existen estudios donde se ha comprobado la inhibición de patógenos importantes para la salud animal y humana mediante el tratamiento con EM. El crecimiento de las bacterias *Clostridium botulinum*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella gallinarum* y *Salmonella enteritidis* fue inhibido por la acción del EM a los 10 días de tratamiento en un estudio en Sudáfrica en el Instituto Veterinario Onderstepoort (Kabongo, 2002) citado por Fioravanti y Vega, 2003.

Además, los metales y en general químicos de la industria, podrían ser afectados significativamente por el EM. Jenkins (1999) citado por Higa y Chinen, quien trabajó e investigó sobre el compostaje de excretas humanas, afirma que los microorganismos tienen la capacidad de degradar importantes tóxicos químicos a moléculas orgánicas, benignas, más simples. Sustancias como la gasolina, aceite, diesel, grasa, PCB's (PolyChlorinated Biphenyls), remanentes de la gasificación de carbón, desechos de refinería, insecticidas, herbicidas, TNT (TriNitroTolueno), entre otras, han resultado parcial o totalmente descompuestas y/o transformadas en diferentes experiencias descritas por Jenkins (1999) citado por Fioravanti y Vega, 2003. Muchos de los microorganismos naturales presentes en el compost, son precisamente de los que contiene el EM.

El tratamiento microbiano de un compostaje amarra algunos metales como el plomo y previene que sean absorbidos por plantas y animales; de esta manera se impide la entrada de metales pesados en la cadena alimenticia. Se muestran algunos microorganismos que ayudan a remover metales del agua, algunos de los cuales están

contenidos en el EM como *Saccharomyces*, cuyos metales afines se encuentran generalmente en aguas residuales (Fioravanti y Vega, 2003).

Figura 14: Microorganismos que ayudan a remover metales del agua

Microorganismos	Metales
<i>Zooglea ramigera</i>	Cobre
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Uranio
<i>Trichoderma viride</i>	Cobre
<i>Penicillium spinulosum</i>	Cobre, Cadmio, Zinc
<i>Aspergillus Niger</i>	Cobre, Cadmio, Zinc
<i>Chlorella vulgans</i>	Oro, Zinc, Cobre, Mercurio
<i>Rhizopus arrhizus</i>	Uranio

Fuente: Fioravanti y Vega, 2003

Modalidad de uso

El EM₁® puede revertir estas situaciones de manera natural y económica. Los microorganismos eficaces, a través de un proceso de fermentación benéfico aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos, produciendo sustancias bioactivas y eliminando los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y producen malos olores. Así, con la aplicación de EM₁® es posible restaurar el equilibrio natural del sistema acuático, trayendo consigo efectos benéficos y sostenibles.

Se usa 1 L de EM₁® activado para cada 1.000 L de agua a ser tratada.

Una vez que se alcancen los resultados esperados, hay necesidad de dar mantenimiento al sistema, en este caso, realizar aplicaciones mensuales de 1 L de EM₁® Activado para cada 10.000 L de agua.

El método de aplicación, así como las dosis, pueden variar de acuerdo con las condiciones del sistema, local, y principalmente de los costos. Por esto, consúltenos para una asistencia personalizada.

El concepto se basa en que, cuanto más microorganismos eficaces hay en el sistema, más eficiente y rápido será el proceso de purificación y restauración.

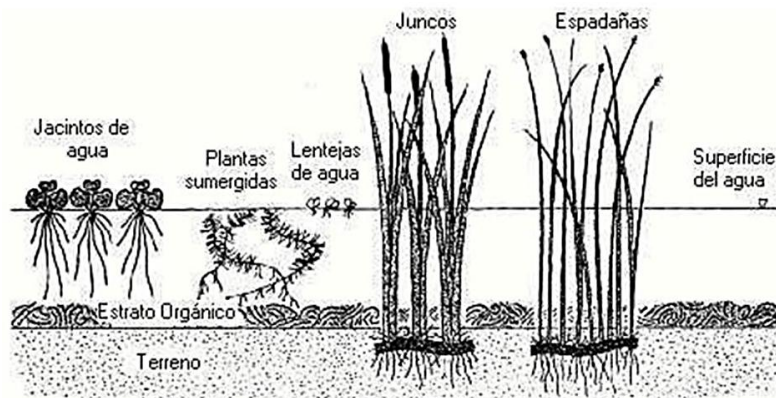
Al ser un proceso continuo de tratamiento se recomienda inocular a partir de la dosis mensual 1/10000 antes mencionado, dando como resultado 40 Litros de EM₁® activado como arranque, posteriormente se inculó diariamente 8 litros (EM Research Organization, 2013).

Remediación mediante el uso de la planta acuática flotante *Eichhornia crassipes* (lechuguín o jacinto de agua) y mediante oxigenación

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

La remoción de nutrientes es de gran importancia sanitaria, ya que su aumento en cuerpos de agua (especialmente lagos y lagunas), genera el fenómeno de eutrofización. La eutrofización consiste en un enriquecimiento excesivo de los elementos nutritivos del agua, que da lugar a una serie de cambios sistemáticos indeseables, entre ellos la producción perjudicial de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de la calidad de agua, la aparición de malos olores y sabores desagradables y la muerte de peces en el cuerpo de agua. La floración excesiva de algas y plantas acuáticas es un fenómeno visible que puede complicar considerablemente la utilización y la calidad estética de las masas de agua.

Figura 15: Principales plantas acuáticas



Fuente: Zarela y Garcia, 2003

El consumo de las plantas acuáticas es un proceso por el cual los alimentos entran a ellas. Su fuente de alimentación son los nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}) y otros nutrientes para crecer, entonces tiene el efecto de eliminación de estos elementos de la fase acuosa. Varios organismos en el entorno de las plantas acuáticas, incluyendo algas y bacterias, también asimilan estos alimentos. La cosecha periódica de las plantas elimina permanentemente estos alimentos de la columna del agua.

Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento

Las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

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

Propiedades para utilizar *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas contaminadas

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.

Poseen un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas Novotny y Olem, citado por Celis (1994), retienen en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico). Además remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos Metcalf y Eddy (1995).

El impacto que estas plantas causan en lagos y charcas si no se mantienen bajo control es muy grave, ya que pueden cubrir estas extensiones completamente, impidiendo que la luz del sol llegue a las plantas acuáticas nativas y agotando el oxígeno del agua.

Es una de las plantas de más rápido crecimiento, se reproducen principalmente por brotes que forman nuevas plántulas, además de por semillas. El vigoroso Jacinto de agua común *Eichhornia crassipes* puede doblar su número en dos semanas.

Figura 16: Características de *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua ó Lechuguín)



Fuente: Zarela y Garcia, 2003.

El jacinto de agua también se observa para mejorar la nitrificación en las aguas residuales tratadas con células de tecnología viva.

Sus zonas radiculares son excelentes micrositios de las comunidades bacterianas. Remueve toxinas, tales como cianidas, un proceso que es de beneficio ambiental en las zonas que han sufrido las operaciones de minería de oro.

Flotan sostenidas por esponjosos rizomas, con las raíces flotando libremente. Hasta el 50% de la biomasa del aguapé puede estar constituida por raíces fibrosas, de color violáceo o azulado gracias a la antocianina que contienen como defensa frente a los predadores. Alcanzan los 3 m de largo, con radículas laterales en gran cantidad que le dan una apariencia plumosa.

La planta es muy tolerante, y de alta capacidad de captación de metales pesados, tales como Cd, Cr, Co, Ni, Pb, Hg, etc. que podría ser utilizado para la biolimpieza de aguas residuales industriales.

Oxigenación en la remediación de aguas contaminadas

El oxígeno que se halla en el agua proviene de muchas fuentes, pero la principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera. El movimiento de las olas permite que el agua absorba más oxígeno. Otra fuente de oxígeno son las plantas acuáticas, incluyendo las algas; durante la fotosíntesis, las plantas eliminan dióxido de carbono y lo reemplazan con oxígeno.

El oxígeno se mueve continuamente entre el agua y el aire. La dirección y velocidad de este movimiento depende del contacto entre ambos. Un torrente montañoso o un lago con oleaje, donde la mayor parte de la superficie del agua está expuesta al aire, absorberá más oxígeno de la atmósfera que una masa de agua en calma. Esa es la idea en que se

fundan los aireadores; al crear ondas y burbujas, aumenta el área de la superficie y puede entrar más oxígeno al agua.

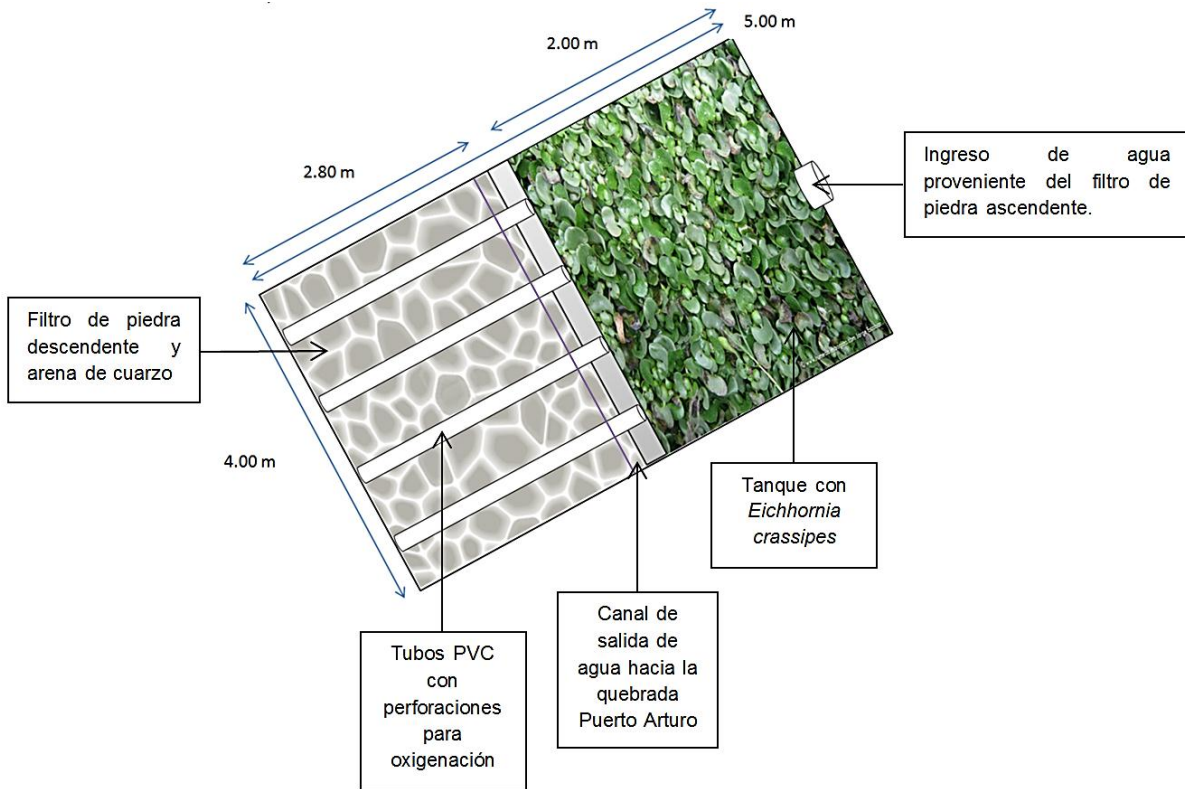
Uno de los más importantes procesos químicos en la tierra ocurre en las hojas de las plantas: la fotosíntesis. Durante el día, las plantas toman constantemente dióxido de carbono del aire y, en presencia de agua, lo convierten en oxígeno e hidratos de carbono, que se usan para producir más plantas. Dado que la fotosíntesis requiere luz, las plantas no fotosintetizan de noche, de modo que no producen oxígeno.

Una vez en el agua, el oxígeno es utilizado por la vida acuática. Los peces y otros animales acuáticos necesitan oxígeno para respirar. El oxígeno es consumido también por las bacterias de plantas y animales muertos o en descomposición.

Todos los animales, estén en tierra o bajo el agua, necesitan oxígeno para respirar, crecer y sobrevivir. Las plantas y los animales respiran noche y día consumiendo oxígeno y produciendo dióxido de carbono, que es usado por las plantas durante la fotosíntesis.

Los desechos de plantas y animales se descomponen eventualmente, provengan de animales vivos o de plantas y animales muertos. En el proceso de descomposición, las bacterias usan oxígeno para oxidar, o alterar químicamente, el material para separarlo en sus partes componentes. Algunos sistemas acuáticos pueden pasar por cantidades extremas de oxidación, no dejando oxígeno para los organismos vivos, que eventualmente mueren o se sofocan (Peña y Chang, 2007).

Figura 17: Dispositivos implementados en la presente investigación con *Eichhornia crassipes* “lechuguín” y flautas para la oxigenación



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013

La etapa de filtro de piedra descendente de capacidad total de 27.87 m^3 (Figura 17) pasó a ser un tanque de Jacinto de agua de 11.60 m^3 ($1.45 \text{ m} * 2.00 \text{ m} * 4.00 \text{ m}$), con tubos PVC con perforaciones espaciadas de 10 cm a lo largo de tubo a una altura de 25 cm sobre el filtro de piedra, con una capacidad de 16.25 m^3 ($1.45 \text{ m} * 2.00 \text{ m} * 4.00 \text{ m}$), en esta etapa se brindó oxigenación al agua por contacto con el aire como fuente ilimitada de oxígeno, sedimentación, retención de sólidos, control de olores, retención aceites y grasas. Sobre el filtro de piedra se añadió ayuda colocando arena de cuarzo procedente de las etapas de filtración en las plantas de agua potable de la empresa (EMAPA-A), aprovechando recursos con la finalidad de disminuir coliformes.

Evaluación de la Innovación e Implementación biológica ejecutadas

Se llevó controles de pH y caudal, así como los análisis microbiológicos y físico – químicos de acuerdo a los parámetros seleccionados en el TULAS Anexo VI (Tabla 8).

3.5.1 Metodología

3.5.1.1 Reconocimiento estructural de la Planta de Tratamiento de Puerto Arturo – Ambato.

- Determinación de las etapas de tratamiento que posee la planta.
- Seguimiento del proceso de tratamiento en todas sus etapas.
- Recopilación de información gráfica y escrita sobre la operación de la planta.
- Planimetría de la planta de tratamiento en el lugar de investigación.
- Conocer los materiales de construcción utilizados en la planta.

3.5.1.2 Proceso de Innovación e Implementación biológica en la planta de tratamiento.

- Control de caudal para rendimiento recomendable de la planta de tratamiento.
- Mantenimiento general de la planta de tratamiento
- Efectuar pruebas operativas en cada etapa de tratamiento mediante supervisiones diarias.
- Análisis de pH.
- Toma de muestras en cada etapa.
- El tiempo de duración para el proyecto fue de ocho meses
- En 25 días se tomó las muestras pertinentes para los análisis físico-químicos y microbiológicos en los laboratorios pertenecientes a EMAPA-A.

3.5.1.3 Proceso de adecuación y mantenimiento de la planta de tratamiento

- Corrección de fallas de construcción en el tanque sedimentador de tipo manual.
- Eliminar la maleza presente alrededor de la planta de tratamiento
- Dotar de carga microbiana durante veinte y cinco días (microorganismos eficientes), partiendo de la dosis recomendada mensual de 1/10000 L de agua.
- Lavado íntegro de las rocas o piedras presentes en los filtros
- Control de caudal.

3.5.1.4 Proceso de implementación del tanque mixto de *Eichhornia crassipes* (lechuguín o jacinto de agua) y oxigenación

- Construcción de un muro de ladrillos de 1.95 m de alto, esto divide el tanque del conducto de desagüe.
- Colocación de “lechuguín” en etapa madura al tanque mixto con un volumen de 11.60 m³.
- Control de “lechuguín” con el agua a tratar, se elimina plantas muertas en caso de haberlo.

3.5.1.5 Proceso de activación e inoculación de Microorganismos Eficientes (EM)

Los microorganismos presentes en el producto comercial EM•1® están en estado de latencia y se debe aplicar el siguiente instructivo:

PARA ACTIVAR: Se usó la proporción de una (1) parte de EM•1® (5%) para una (1) parte de melaza (5%) de caña o azúcar para dieciocho (18) partes de agua (90%) limpia (sin cloro)*, así, 1 litro de EM•1® le rendirá 20 litros de EM•1®-Activado para aplicación.

Para agua tratada con cloro, antes de usarla, es necesario colocarla en un recipiente abierto y exponerla a la luz por 24 horas.

Para la activación, se usó sólo recipientes plásticos limpios y con tapas que permitan el cierre hermético para evitar la entrada de aire.

Independiente del volumen total del recipiente utilizado, realice los siguientes pasos:

- A. Llenar el recipiente con 9 partes de agua, o por la mitad.
- B. Colocar 1 parte de EM•1® y 1 parte de melaza de caña o azúcar.
- C. Agitar bien para disolver la melaza o el azúcar hasta formar una solución homogénea.
- D. Agregar las otras 9 partes de agua y cierre bien el recipiente para evitar la entrada de aire.
- E. Mantener el EM•1®-activado en un lugar cuya temperatura oscile de cálida a caliente (25 a 40°C) durante un período de 4 a 7 días para su respectiva fermentación.
- F. Durante la fermentación, y ya a partir del 2º día, se produce gas. Es necesario eliminar el exceso abriendo el recipiente apenas lo suficiente para extraerlo. Realice la extracción del gas cada vez que sea necesario.

G. El EM•1®-activado está listo para usar a partir del 4 al 7º día, cuando el pH de la solución esté abajo de 4,0, o cuando presente un olor agrídulce agradable y exista un cambio de color de café-oscuro a café-anaranjado.

H. El EM•1®-activado debe utilizarse durante los 35 días siguientes después de su activación de lo contrario pierde eficacia.

I. Almacene el EM•1®-activado siempre bien tapado, en un lugar fresco, aireado y fuera del alcance de niños y de animales domésticos.

J. ATENCIÓN: para la activación del EM•1® no se usa envases que puedan ser confundidos con bebidas.

NOTA: si el olor del EM•1®-activado recuerda algo podrido y no es agrídulce y agradable, o si el pH no está abajo de 4,0, entonces hubo contaminación y la solución con el producto debe ser desechado (EM Research Organization, 2013).

Cantidad de las muestras (4 litros cada una).

- Muestra al ingreso a la planta de tratamiento.
- Muestra a la salida del tanque sedimentador.
- Muestra salida de la planta de tratamiento (Etapa de filtros).

3.5.2 Evaluación del comportamiento de los dispositivos instalados mediante análisis físico-químicos y microbiológicos de las aguas tratadas en la planta.

Tabla 8: Resumen de los parámetros físico-químicos y microbiológicos que fueron analizados.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Coliformes fecales	NMP/100 ml		⁸ Remoción > al 99,9 %
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	250
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Nitritos	Expresados como nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Nitratos			
Potencial de hidrógeno	pH		5 - 9.
Sólidos sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos totales		mg/L	1600
Sólidos suspendidos		mg/L	100
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/L	1000
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5

⁸ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Fuente: TULAS, 2010.

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2012.

3.5.2.1 Protocolos de análisis de laboratorio

Aluminio

Elemento liviano, anticorrosivo, no tóxico, buen conductor térmico. Se establece un límite con el objeto de optimizar el tratamiento del agua. En concentraciones mayores de 0.05 mg/l se puede precipitar en el sistema de distribución. Se le ha asociado con problemas de anorexia, enfermedad de Alzheimer e irritación del tracto intestinal. Su consumo en la dieta diaria es generalmente menor de 100 mg/dl (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 10

- Seleccionar el test
- Se toma 50 ml de muestra + 1 sobre de Ácido Ascórbico agitamos 1 MIN + 1 sobre de AluVer 3, agitamos 1 MIN, en presencia de Aluminio se formará un color rojo-naranja.

BLANCO: Tomamos en una cubeta 10 ml de la solución anterior + 1 sobre de Bleaching 3 Reagent, agitamos 30 segundos.

- Posteriormente accionamos el temporizador en 15 MIN que es el período de reacción.
- Luego de los 15 MIN se coloca el blanco en el equipo y taramos.
- Finalmente se procede a la lectura con 10 ml de la solución dándonos el resultado en mg/l de Al^{3+} (Hach Lange, 2005).

Cloruros

Son compuestos solubles de cloro que permanecen solubles en el agua y no son alterados por procesos biológicos; incrementan el contenido de sólidos disueltos en el agua y las incrustaciones en las tuberías, además de indicar contaminación en aguas residuales. En climas cálidos concentraciones a más de 1000 mg/l puede ser nocivos por el consumo de agua (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 70

- Seleccionar el test
- Se coloca 10 ml de muestra en una cubeta.
- Tomamos 10 ml de agua destilada en la otra cubeta.
- En ambas cubetas pipetear 0.8 ml de solución Tiocianato Mercúrico y agitamos.
- Luego pipetear 0.4 ml de Solución Férrica en las dos cubetas y agitamos.
- En presencia de Cloruros aparece un color anaranjado.
- Colocar el temporizador en 2 min, tiempo de reacción
- Luego de este tiempo colocamos el blanco que está con agua destilada y taramos.
- Finalmente la muestra se da lectura en mg/l Cl. (Hach Lange, 2005).

Coliformes fecales

Comprende todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, que no producen esporas, de forma bacilar, que fermentan la lactosa con generación de gas en un periodo de 48 horas o menos, a 35°C (Páez, 2009).

Para poder dar lectura se hace una dilución previa de 1 ml de agua residual en 1000 ml de agua destilada.

Para coliformes fecales se utiliza el medio Colilert agitado fuertemente en 100 ml de muestra se transfiere a las bandejas de cultivo por 24 horas a 35°C. Se detectan por fluorescencia en una lámpara UV y se comparan en tablas en NMP/100 ml

Cromo hexavalente

Las sales de cromo hexavalente Cr⁶⁺ se utilizan ampliamente en procesos industriales del acero, pinturas, colorantes y cerámicas. El estado hexavalente es tóxico para los humanos, los animales y la vida acuática. Puede producir cáncer de pulmón cuando se inhala y fácilmente produce sensibilización en la piel. Sin embargo no se conoce si se produce cáncer por la ingestión de cromo en cualquiera de sus estados de oxidación (Ojeda, 2004).

Método HACH DR 5000 Nro. 90

- Seleccionar el test
- Llenar una cubeta con 10 ml de muestra.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre ChromaVer 3 en polvo.
- Agitar, con rotación, para mezclar. En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta.
- Esperar un periodo de reacción de 5 MIN.

BLANCO: llenar otra cubeta cuadrada con 10 ml de muestra. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado de cara al usuario. Tarar el equipo.

- Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado de cara al usuario. Cerrar la tapa. El resultado aparecerá en mg/L Cr⁶⁺ (Hach Lange, 2005).

Demanda bioquímica de oxígeno

Método HACH DBO₅

Para un DBO de 0 – 400 se toman 157 ml de muestra junto con un agitador magnético, posteriormente se coloca el buffer nutritivo fosfatodiácido de sodio-magnesio, se coloca hidróxido de litio en el tapón superior del envase el cual consume agua en vapor y atrapa el oxígeno en exceso, colocar la tapa, una vez preparada la muestra se ubica sobre el equipo para que durante 5 días marque la demanda biológica de oxígeno por medio de un agitador constante, se selecciona la duración de la prueba, presionar la tecla read para activar el programa, se usa las teclas con flechas para escoger 5 días. Presione OFF para guardar la selección y salir del menú, por último presionar ON para correr el programa.

Demanda química de oxígeno

Método HACH DQO

El equipo de DQO debe ser encendido para que posteriormente se estabilice a 150 °C. En un ángulo inclinado se coloca 2 ml de la muestra en un tubo de ensayo que contiene solución digestora 20 -1500 ppm HACH, de igual manera se procede a elaborar el blanco, se procederán a reaccionar a partir de un color naranja a un color verde dejándolo en el equipo por 2 horas, luego se deja enfriar para dar lectura en el espectrofotómetro donde la pantalla aparecerá el resultado en en mg/L DQO.

Fluoruros

El flúor es el elemento no metálico más reactivo conocido, formando fluoruros con elementos orgánicos e inorgánicos, por ello se encuentra en forma natural en aguas, especialmente en aguas subterráneas. Generalmente la presencia de fluoruros ayuda a proporcionar protección adicional contra la caries dental, pero en dosis entre 4 – 2250 mg/l causan moteamiento (caso clínico denominado fluorosis que amarillea los dientes) hasta casos de muerte (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 190

- Seleccionar el test
- Medir y colocar 10 ml de muestra en una celda (la muestra preparada).
- Medir y colocar 10 ml de agua destilada en una segunda celda de muestra seca (el blanco).
- Colocar 2 ml de reactivo SPADNS con la pipeta en cada celda.
- Esperar un periodo de reacción de 5 MIN.
- La característica de esta prueba es que mientras más clara se torne la muestra de un color rojo a un amarillo denota mayor presencia de flúor que puede ser ratificado por medio del análisis del equipo en mg/l F⁻ (Hach Lange, 2005).

Fosforo total

Es un nutriente de importancia en eutrofización de lagos y embalses, donde puede contribuir a crecimientos incontrolables de algas si se halla en concentraciones mayores a 0.05 mg/l. Elemento esencial con un consumo sugerido de 800 mg/dl por ello no se regula en agua potable (Romero, 2002).

Método HACH DR 200 Nro.8190

- Encender el reactor de DQO (Demanda química de oxígeno). Calentar a 150°C. Colocar el escudo plástico adelante del reactor.
- Tomar 5 ml de la muestra y colocarlos en un tubo de fósforo total e hidrolizable con ácido.
- Realizar un blanco reactivo para esta prueba. Utilizar agua destilada en lugar de la muestra. Sustraer este resultado de todos los resultados de las pruebas realizadas con esta cantidad de reactivo PhosVer 3.
- Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de persulfato de potasio.
- Tapar herméticamente y agitar para disolver.
- Calentar el tubo durante 30 minutos a 150°C.
- Retirar cuidadosamente el tubo del reactor. Colocarlo en un soporte para tubos de ensayo y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Agregar 2 ml de hidróxido de sodio 1,54 N al tubo. Tapar y mezclar.
- Limpiar el exterior del tubo con una toalla.
- Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato PhosVer 3 en el tubo.
- Tapar herméticamente y agitar durante 10 a 15 segundos y proceder a la lectura. (Hach Lange, 2005).

Hierro total

Concentraciones altas mayores a 2 mg/l imparten color y sabor desagradable al agua, puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos. Debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación puede causar enfermedades oculares y respiratorias (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 265

- Seleccionar el test
- Llenar la cubeta con 10 ml de muestra.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de Iron FerroVer en polvo y agitar, con rotación, para mezclar.

- Después de añadir el reactivo se formará un color anaranjado si existe hierro.
- Esperar un período de reacción de 3 minutos (la muestra preparada).

BLANCO: llenar otra cubeta con 10 ml de muestra. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte con la marca de llenado de cara al usuario. Cerrar la tapa y tarar.

- La pantalla indicará: 0,00 mg/L Fe
- Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el equipo con la marca de llenado de cara al usuario.
- El resultado aparecerá en mg/L Fe (Hach Lange, 2005).

Nitratos

Usualmente introducidos al agua por contaminación humana, causa metahemoglobilemia (reducida la capacidad de la sangre de transportar oxígeno) en la población infantil y diarrea. Sirve como indicador de la calidad sanitaria del agua potable y residual (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 355

- Seleccionar el test
- Llenar una cubeta con 10 ml de muestra
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo a la cubeta.
- Tapar la cubeta con un tapón.
- Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador, comienza un período de reacción de 1 minuto. Agitar vigorosamente la cubeta hasta que suene el temporizador.
- Después de que suene el temporizador, seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador, comienza un período de reacción de 5 minutos. En presencia de nitrato, aparecerá un color ámbar.

BLANCO: Colocar en la otra cubeta 10 ml de muestra.

- Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el equipo con la marca de llenado de cara al usuario, taramos y La pantalla indicará: 0,0 mg/L $\text{NO}_3^- -\text{N}$
- Dentro de los 2 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado de cara al usuario y el resultado aparecerá en mg/L $\text{NO}_3^- -\text{N}$ (Hach Lange, 2005).

Nitritos

NO_2^- formado por acción bacterial sobre el nitrógeno orgánico y amoniacal. Se usa como preservante de algunos alimentos y es poco común en aguas por su facilidad de oxidación en nitrato. En dosis altas es perjudicial por sus efectos como vasodilatador cardiovascular, su contribución a la metahemoglobinemia en los infantes y la posible formación de nitrosaminas, las cuales son probables carcinógenos (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 371

- Seleccionar el test
- Llenar una cubeta con 10 ml de muestra.
- Llenar una cubeta con 10 ml de muestra, añadir 1 sobre de NITRITO NITRIVER 3 Ó NITRITE, agitamos 1 MIN, en presencia de Nitritos aparece un color rosa. Ponemos el temporizador en 20 MIN (tiempo de reacción).

BLANCO: Colocar en otra cubeta 10 ml de muestra.

- Luego de los 20 MIN de reacción colocamos el blanco en el equipo y enceramos, colocamos la muestra con el reactivo y leemos y aparece (mg/l) (Hach Lange, 2005).

Potencial de hidrógeno (pH)

Utilizando cintas de pH Macherey-Nagel 2 – 9 se procede a introducir la cinta en el envase de muestreo en el mismo momento de la toma de muestras, se compran por gama de colores.

Sólidos sedimentables

Métodos sólidos en volumen

- Homogeneizar la muestra e inmediatamente llenar el Cono de Imhoff hasta la marca de 1 L
- Dejar que la muestra sedimente durante 45 minutos.
- Transcurridos los 45 minutos, se remueven suavemente las paredes con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos a las paredes del mismo.
- Mantener en reposo 15 minutos y registrar el volumen de sólidos sedimentados en el cono en ml/l.

Sólidos suspendidos totales

Se filtra una mezcla bien homogenizada por un filtro estándar (papel filtro de fibra de vidrio), y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

- **Cálculo**

$$\text{Dónde: } \frac{\text{mg de sólidos totales en suspensión}}{L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volumen de muestra mL}}$$

A: Peso del filtro + residuo seco, mg

B: Peso del filtro, mg

Sólidos totales

Se pesa una capsula de porcelana para determinar cada sólido previamente eliminada de humedad y grasas. Cada cápsula se debe llevar con pinzas tratando de no entrar en contacto con el laboratorista.

Sólidos totales: 100 ml de agua

Secar a 100 °C por 24 horas y pesar; calculo referido a 10000

$$ST(mg / L) = \frac{(A - B) * 1.000}{\text{volumen_muestra}(mL)}$$

Dónde:

B= peso de la capsula seca sin muestra

A= peso de la capsula seca con muestra (APHA, 1989).

Sulfatos

Tiene efecto laxante, son causantes de diarrea y deshidrataciones en concentraciones de 600 – 1000 mg/l aunque sus efectos no son permanentes. Están presentes en muchos compuestos inorgánicos y como resultado de procesos naturales o de la actividad humana, las fuentes principales son las rocas y los suelos sedimentados. Los sulfatos se introducen en las aguas como resultado de la contaminación con aguas residuales estos aumentan con la presencia de tensoactivos (Romero, 2002).

Método HACH DR 5000 Nro. 680

- Seleccionar el test
- Colocar en una celda 10 ml. de muestra + 1 sobre de SULFATE VER 4.
- Agitamos por 30 segundos y accionar el temporizador en 5 MIN (tiempo de reacción).

BLANCO: Poner en la otra celda 10 ml de muestra.

- Después de los 5 MIN de reacción, colocar el blanco en el equipo y encerrar.
- Finalmente colocar la muestra con el reactivo y se da lectura en mg/l (Hach Lange, 2005).

Tensoactivos (detergentes)

El uso de los compuestos tensoactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua con lo cual se dificulta la vida acuática y además, como les quitan la grasa de las plumas a las aves acuáticas les provoca que se escape el aire aislante de entre las plumas y que se mojen, lo cual puede ocasionarles la muerte por frío o porque se ahogan, de manera semejante como les ocurre con los derrames de petróleo en el mar (Cordero, 1998).

Método HACH DR 5000 Nro. 8028

- Seleccionar el test
 - Llenar una probeta limpia de 500 ml hasta la marca de 300 ml con la muestra. Verter la muestra dentro de un embudo de decantación de 500 ml.
 - Agregar 10 ml de la solución tampón del sulfato. Tapar la ampolla. Agitar la ampolla durante cinco segundos.
 - Agregar los contenidos de una bolsa de polvo del reactivo de detergentes a la ampolla. Tapar el embudo y agitar para disolver el polvo.
 - Agregar 30 ml de benceno a la ampolla. Tapar el embudo y agitar suavemente durante un minuto.
 - Colocar la ampolla de decantación en un soporte de apoyo.
 - Accionar el temporizador en un período de reacción de 30 minutos.
 - Extraer el tapón y drenar la capa de agua inferior. Descartar esta capa.
 - Drenar la capa de benceno superior dentro de una celda de muestra limpia de 25 ml (la muestra preparada)
- BLANCO:** Llenar la celda de muestra hasta la marca de 25 ml con benceno puro
- Colocar el blanco en el soporte de la celda. Colocar la muestra preparada en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz y dar lectura (Hach Lange, 2005).

3.6 Plan de procesamiento de la información

Las técnicas a utilizadas en el procesamiento de información es por observación directa puesto que el investigador se orientó en contacto personal con el objeto de estudio en escenarios y ambientes debidamente preparados que conducirán a la comprobación de las hipótesis planteadas donde se utilizará análisis físico –químicos y microbiológicos en los diferentes puntos de investigación en la planta de tratamiento en el sector de Puerto Arturo – Ambato. Una vez realizado los análisis con sus respectivos resultados de los parámetros microbiológicos y físico-químicos, se procedió a la tabulación y cálculos de los datos con Microsoft Office Excel.

Prueba estadística

Se procedió a realizar un análisis crítico de los resultados en base a gráficas para cada etapa de la planta de tratamiento en relación a TULAS. Mediante la prueba de Ji - cuadrado X^2 donde se determinó si los datos obtenidos presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula en los parámetros analizados y así determinar si existe diferencia entre tratamientos y sus porcentajes de reducción.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Las muestras tomadas de agua para análisis se realizaron en la estación de Puerto Arturo en dos etapas Imagen D.19. (Anexo D), la primera el 20 de Febrero al 12 de Marzo, empezando la segunda etapa el 13 de Marzo al 10 de Abril del 2013 donde se toma la segunda muestra.

Resultados Obtenidos

La primera etapa de análisis se tomó el 20 de Febrero del 2013 correspondiente a la entrada a la planta, salida del tanque sedimentador y salida de la planta que comprende la etapa de filtros de piedra, todo esto previa innovación e implementación biológica de la planta de tratamiento, dando como resultado 10 parámetros fuera del límite permisible por TULAS de los 17 parámetros establecidos (Tabla A.1. Anexo A), estos parámetros fuera del límite corresponden a coliformes fecales, cromo hexavalente, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO), fluoruros, fósforo total, nitratos, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, y tensoactivos ó tetergentes. La segunda etapa de toma de muestras (Tabla A.2. Anexo A) se realiza luego de 25 días esto incluye la innovación e implementación realizada durante este periodo de tiempo en el cual la mayoría de parámetros llegan a reducir su concentración, se toma en cuenta que es un tratamiento netamente biológico a favor del medio ambiente en proceso continuo de tratamiento. Todas las muestras fueron a temperatura ambiente entre 16 y 18 °C a las 10 de la mañana.

4.1.1 Aluminio

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A) se evidencia un incremento de concentración de aluminio en el tanque sedimentador del 45.31 % Gráfico C.1.2. (Anexo C); en la segunda etapa de análisis posterior a la innovación e implementación biológica Tabla A.2 (Anexo A) en la entrada y tanque sedimentador se puede observar la tendencia a disminuir las concentraciones Gráfico C.1.1 (Anexo C) de manera progresiva al proceso, evidenciando la eficacia del sistema en un 37.50 % y un 3.13 % en la etapa de tanque sedimentador y salida (etapa de filtros) logrando valores más bajos en relación a la primera etapa de análisis.

4.1.2 Cloruros

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A), se produce un incremento de concentración en el tanque sedimentador en un 6.77 % con un porcentaje de recuperación del 8.03 % en el proceso que comprende al tanque sedimentador y la salida (etapa de filtros) como lo indica el grafico Gráfico C.2.2. En la segunda etapa de análisis posterior a la innovación e implementación bilógica la tendencia es similar Gráfico C.2.1.

4.1.3 Coliformes fecales

De acuerdo a los resultados obtenidos Tabla A.1. (Anexo A), en la prueba de bandejas para coliformes con medio ColiLert nos indica el número más probable por unidad de volumen de agua, al analizar 100 ml de agua contaminada, se reportan valores >2419,6 NMP/100ml lo máximo que indica el método, de esta manera se puede detectar la presencia más alta evidente en las aguas tratadas de coliformes fecales, razón por la cual el proceso de innovación e implementación biológica no es efectivo para aguas contaminadas en procesos continuos de tratamiento.

4.1.4 Cromo hexavalente

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A). El Gráfico C.3 (Anexo C) nos muestra un incremento de concentraciones que comprende a la entrada y tanque sedimentador con una leve recuperación del agua contaminada en la etapa que comprende el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros) como lo indica el Gráfico C.3.1 (Anexo C), comportamiento similar a los análisis realizados posterior a la innovación e implementación biológica Tabla A.2 (Anexo A).

4.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A) existe un incremento de concentración entre la etapa de entrada y tanque sedimentador de un 5.95 %, esto indica un mal funcionamiento del sistema Gráfico C.4.2 (Anexo C), posterior a la innovación e implementación biológica el segundo análisis indica un proceso controlado con tendencia a reducir concentraciones Gráfico C.4.1 (Anexo C) como nos muestra los resultados obtenidos Tabla A.2 (Anexo A) con porcentajes de reducción del 0.91 % en la etapa de entrada y tanque sedimentador y el 14.99 % entre el tanque sedimentador y salida de la planta (etapa de filtros).

4.1.6 Demanda química de oxígeno

En la primera etapa de análisis como lo indica la Tabla A.1 (Anexo A), existe un incremento de contaminación en un 13.26 % en la etapa de entrada y tanque sedimentador y una leve recuperación del 3.65 % en la etapa de tanque sedimentador y salida (etapa de filtros). En el segundo muestreo Tabla A.2 (Anexo A) la concentración de DQO es menor a la de la primera etapa pero con un mayor porcentaje de recuperación en un 17.82 % en la etapa que comprende el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros).

4.1.7 Fluoruros

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A) la planta de tratamiento tiene un comportamiento regular a reducir concentraciones como lo indica el Gráfico C.6.1 (Anexo C). En la segunda etapa de análisis Tabla A.2 (Anexo A) se observa una mayor recuperación del recurso agua de un 33.33 % Gráfico C.6.2 (Anexo C).

4.1.8 Fósforo total

En la primera etapa sin tratamiento de análisis Tabla A.1 (Anexo A) existió una ligera recuperación de un 4.65 % en la etapa de entrada y tanque sedimentador, mientras que un 3.54 % en la etapa que comprende el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros), mientras que en la segunda etapa de análisis que comprende la innovación e implementación biológica, Tabla A.2 (Anexo A), se obtiene un mayor porcentaje de recuperación del agua contaminada en un 6.88 % durante la entrada y tanque sedimentador y un 27.51 % entre el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros), a diferencia del proceso previa innovación e implementación biológica como nos indica el Gráfico C.7.2 (Anexo C).

4.1.9 Hierro total

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A) se observa un aumento de concentraciones en el proceso que comprende la entrada y tanque sedimentador de un 42.11 % con una recuperación del 15.79 % en el proceso que comprende el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros), mientras que en la segunda etapa de análisis se logra una tendencia en reducir concentraciones en un 25 % mucho mayor a la primera etapa Gráfico C.8.1 (Anexo C).

4.1.10 Nitritos

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A) los valores presentan incremento de concentraciones en el proceso que comprende la entrada y tanque sedimentador con poca tendencia a reducir concentraciones en el proceso de tanque sedimentador y salida (etapa de filtros) de un 3.92 %. En la segunda etapa de análisis que comprende la innovación e implementación biológica se logra controlar el proceso con tendencia a reducir concentraciones en un 10 % mucho mayor a la primera etapa Gráfico C.9.1 (Anexo C) manteniendo estable el proceso de tratamiento.

4.1.11 Nitratos

En ambas etapas de análisis Tabla A.1 (Anexo A), expresado en porcentajes Tabla A.4 se puede observar incremento de concentraciones en el proceso que comprende la entrada y tanque sedimentador con una baja tasa de recuperación del agua contaminada en la etapa que comprende el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros) Gráfico C.10.1 (Anexo C).

4.1.12 Potencial de hidrógeno

En las dos etapas de análisis los valores están en un rango de 9 a 7.5 de pH Tabla A.3 (Anexo A), en ambos tratamientos la tendencia a disminuir se cumple Gráfico C.11.1 (Anexo C). El proceso logra reducir el pH hasta 7.5.

4.1.13 Sólidos sedimentables

En la primera etapa de análisis Tabla A.1 (Anexo A) los porcentajes de recuperación son favorables en un 58.82 % en la etapa de entrada y tanque sedimentador y 17.65 % en la etapa que comprende el tanque sedimentador y salida (etapa de filtros), mientras que en la segunda etapa de análisis Tabla A.2 (Anexo A) se logra un mayor porcentaje de recuperación como lo indica el Gráfico C.12.2 (Anexo C). En ambas etapas la tendencia a reducir es evidente Gráfico C.12.1 (Anexo C) donde posterior a la innovación e implementación biológica tiene un mayor grado de recuperación.

4.1.14 Sólidos totales

En ambos tratamientos la tendencia a disminuir es evidente Gráfico C.13.1 (Anexo C), en el proceso posterior a la innovación e implementación biológica el agua contaminada tiene una mayor recuperación del recurso como lo indica el Gráfico C.13.2 (Anexo C).

4.1.15 Sólidos suspendidos totales

En ambas etapas de análisis como la indica la Tabla A.3 (Anexo A) existe tendencia a reducir concentraciones Gráfico C.14.1 (Anexo C). Posterior a la innovación e implementación biológica el porcentaje de reducción es mucho mayor Gráfico C.14.2 (Anexo C).

4.1.16 Sulfatos

En ambas etapas de análisis Tabla A.3 (Anexo A) existe tendencia a reducir concentraciones como lo indica el Gráfico C.15.1 (Anexo C). El proceso que comprende la innovación e implementación biológica evidencia mayor recuperación del agua contaminada Gráfico C.15.2 (Anexo C),

4.1.17 Tensoactivos ó detergentes

En ambas etapas de análisis Tabla A.3 (Anexo A) presentan incremento de concentraciones en la etapa que comprende la entrada y tanque sedimentador Gráfico C.16 (Anexo C) con mayor porcentaje de recuperación en el proceso que comprende la innovación e implementación biológica en la etapa de tanque sedimentador y salida (etapa de filtros) Gráfico C.16.2 y Gráfico C.16.1 (Anexo C) con tendencia reducir concentraciones.

Tabla 9: Resumen de los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos

Parámetro	Unidad	TULAS	Tratamiento	Etapa		
				Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	5	Sin	0,200	0,780	0,300
			Con	0,380	0,140	0,120
Cloruros	mg/L	1000	Sin	298	362	286
			Con	102	178	178
Coliformes fecales	NMP/100ml	3000	Sin	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
			Con	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	Sin	0,600	1,340	0,640
			Con	0,300	0,720	0,580
DBO	mg/L	100	Sin	274	323	226
			Con	213	208	126
DQO	mg/L	250	Sin	669	1014	919
			Con	359	551	330
Fluoruros	mg/L	5	Sin	38,4	25	21,6
			Con	0,2	0,10	0,0
Fosforo total	mg/L	10	Sin	34,00	29,80	26,60
			Con	17,80	15,20	4,80
Hierro total	mg/L	10	Sin	0,40	2,00	1,40
			Con	0,40	0,20	0,20
Nitritos	mg/L	10	Sin	0,300	0,380	0,340
			Con	0,240	0,180	0,180
Nitratos	mg/L	10	Sin	36	46	26
			Con	16	24	22
pH		5 .. 9	Sin	9	8	7,5
			Con	8	7,5	7,5
Sól. Sedimentables	ml/L	1	Sin	4	1	0,1
			Con	3	0,2	0
Sól. Totales	mg/L	1600	Sin	302	180	118
			Con	249	153	50
Sól. Suspendidos	mg/L	100	Sin	375	359	337
			Con	564	516	383
Sulfatos	mg/L	1000	Sin	220	140	140
			Con	480	300	240
Tensoactivos	mg/L	0,5	Sin	1,7	6,76	6,64
			Con	8,2	9,64	4,44

Fuente: Laboratorio de control de calidad de aguas EMAPA-A y Texto Unificado de Legislación Ambiental y Saneamiento TULAS (Tabla 8)

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico 1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para Aluminio

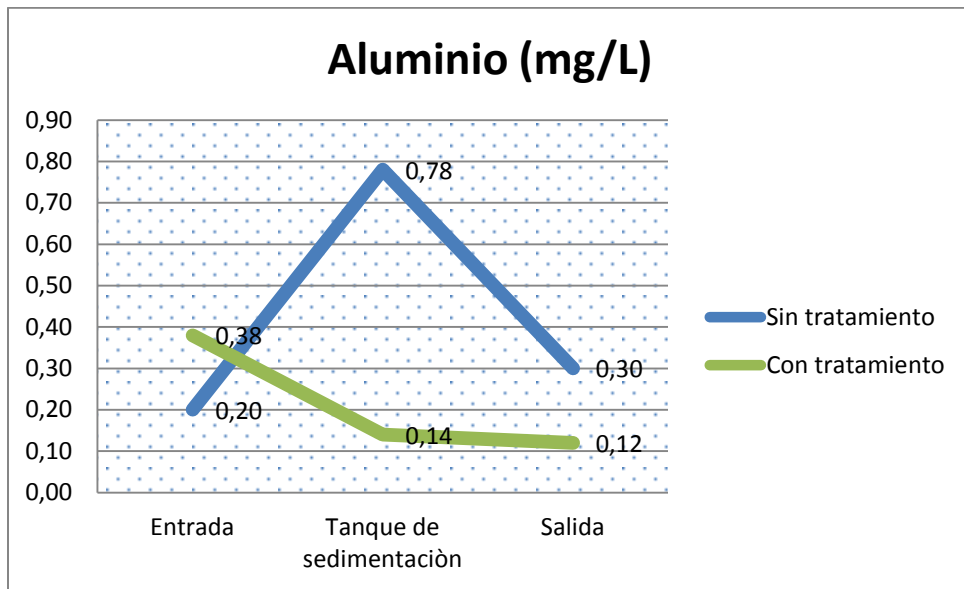


Gráfico 2. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para cloruros

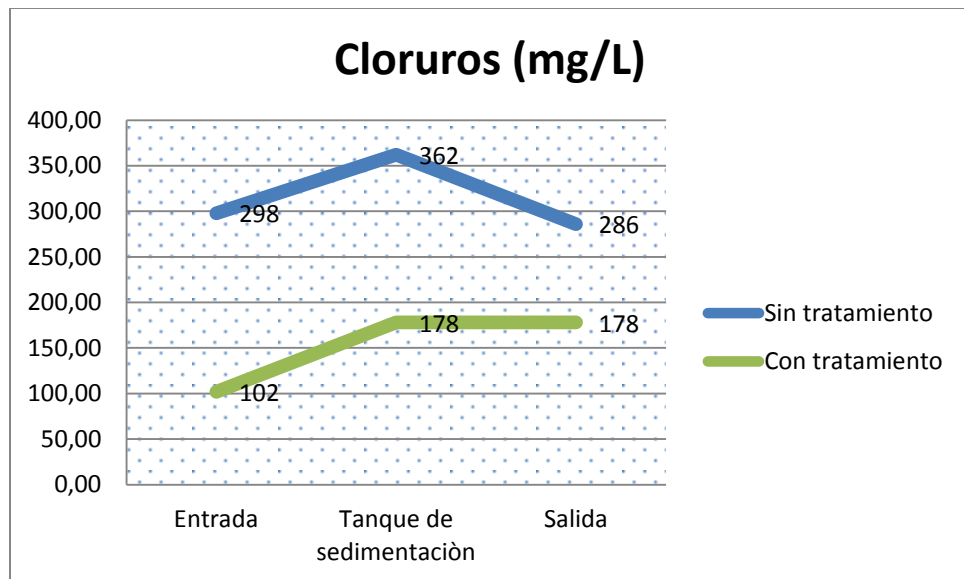


Gráfico 3. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para cromo hexavalente

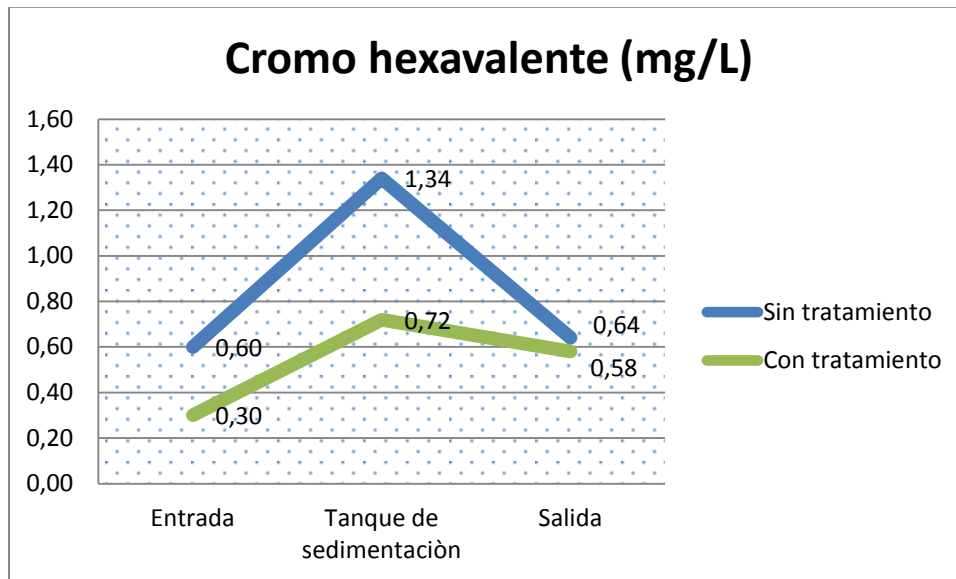


Gráfico 4. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para DBO

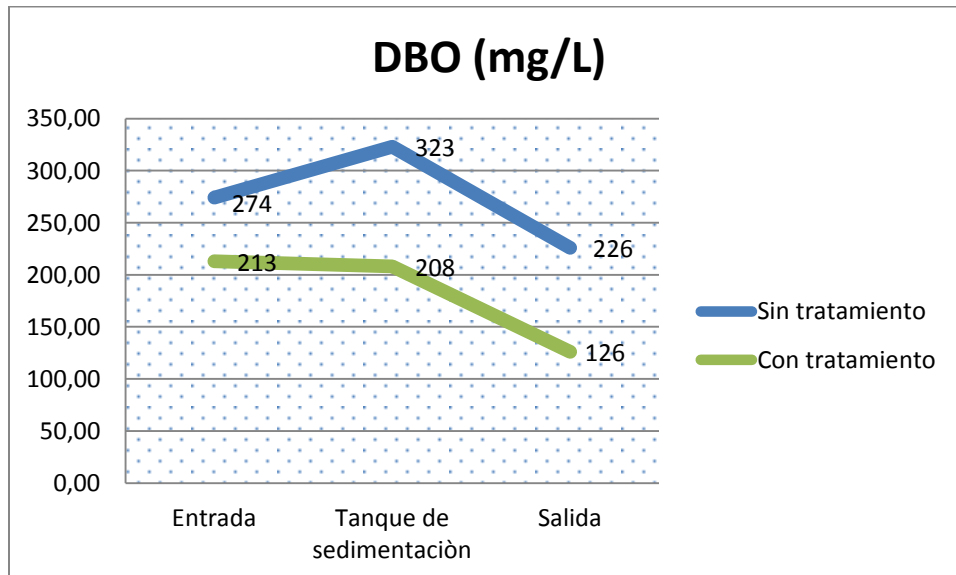


Gráfico 5. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para DQO

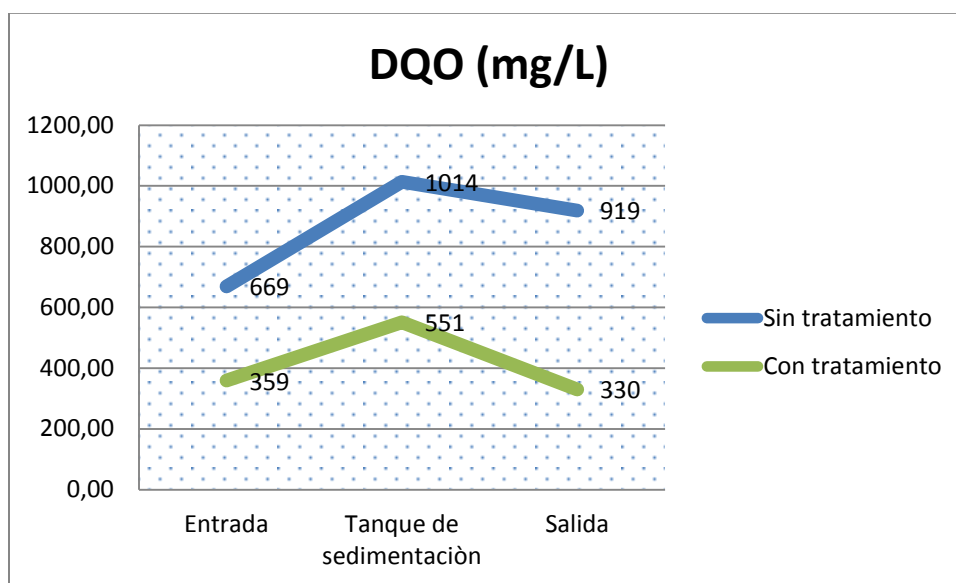


Gráfico 6. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para fluoruros

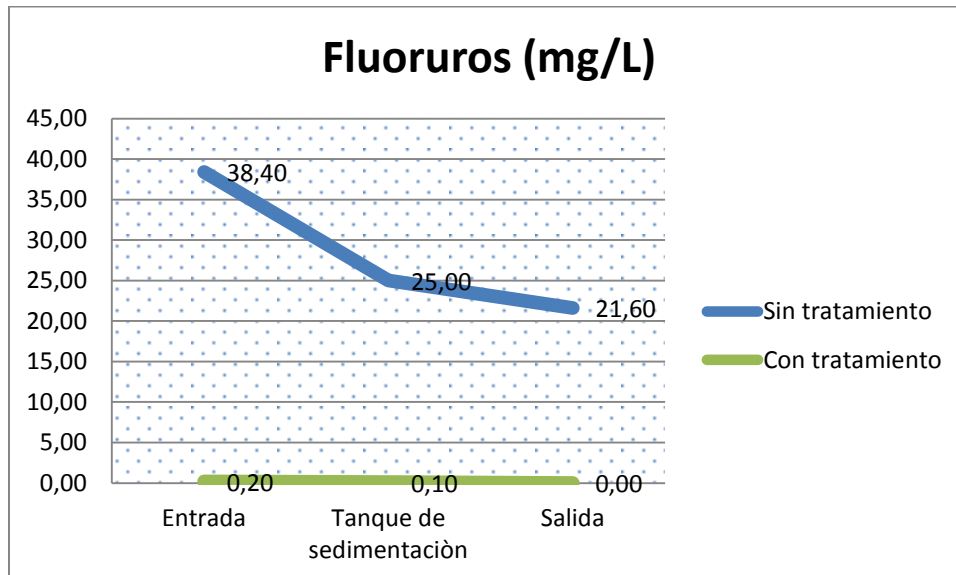


Gráfico 7. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para fósforo total

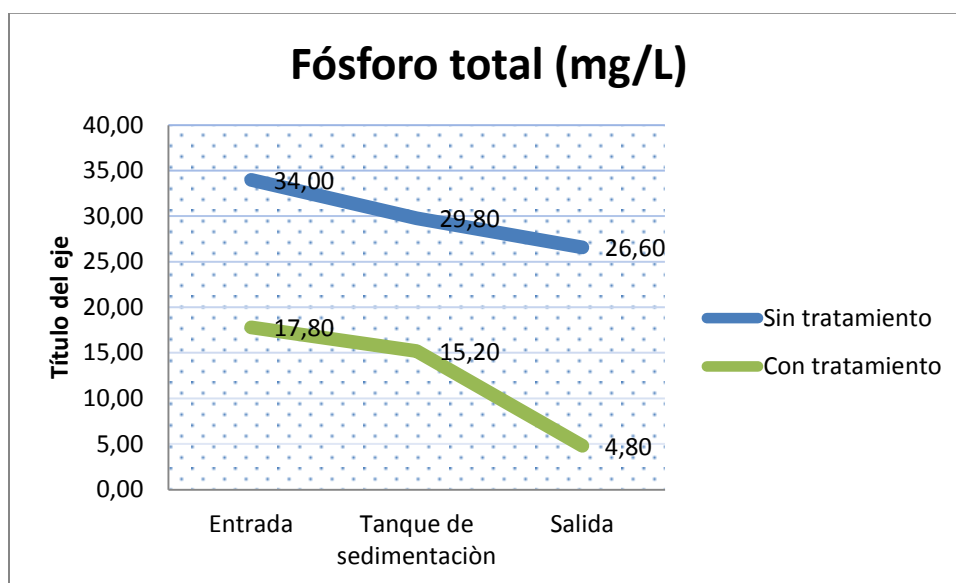


Gráfico 8. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para hierro total

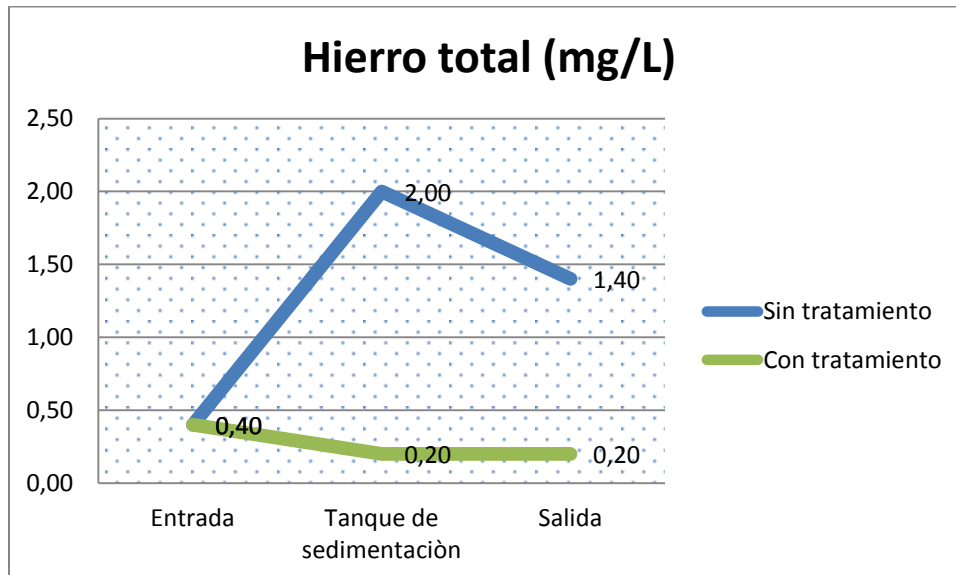


Gráfico 9. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para nitritos

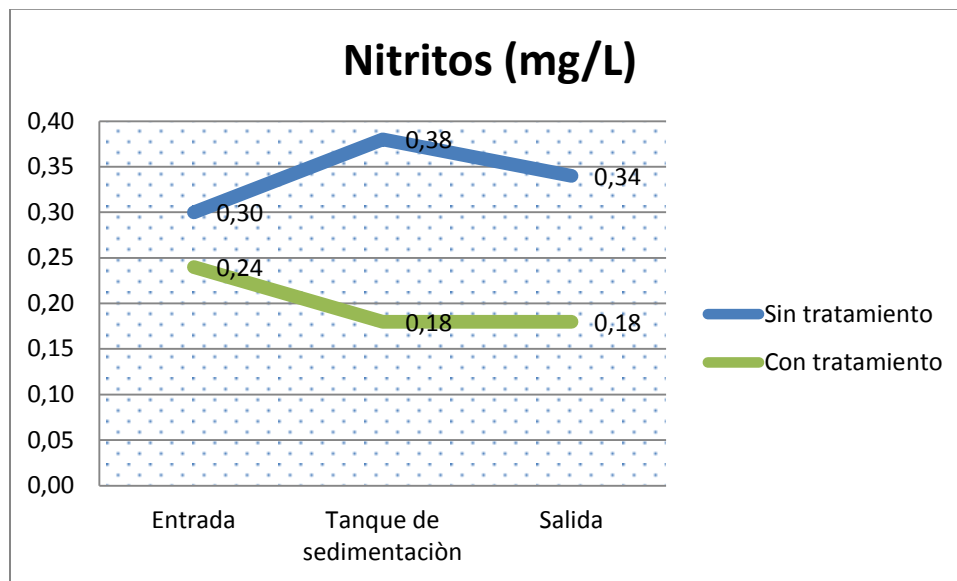


Gráfico 10. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para nitratos

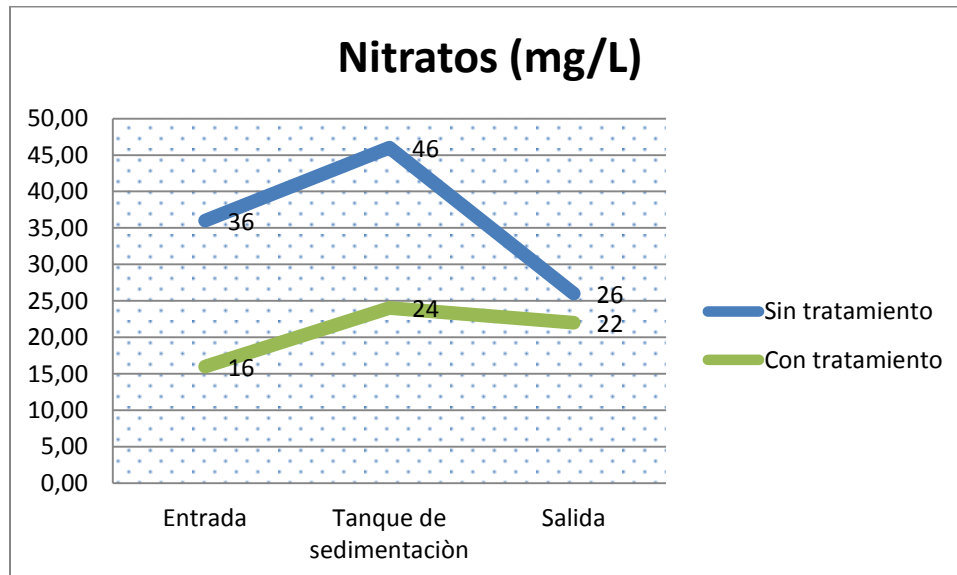


Gráfico 11. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para pH

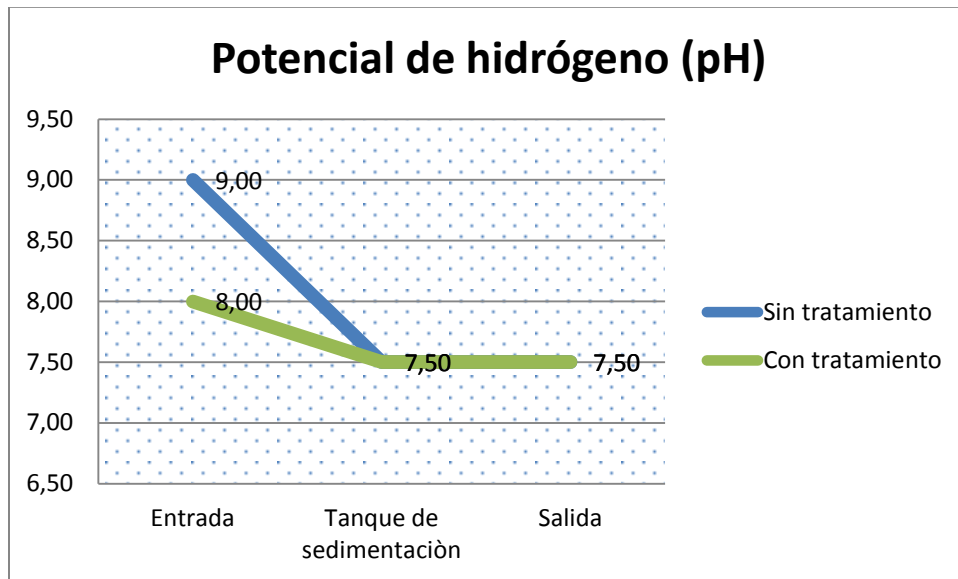


Gráfico 12. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos sedimentables

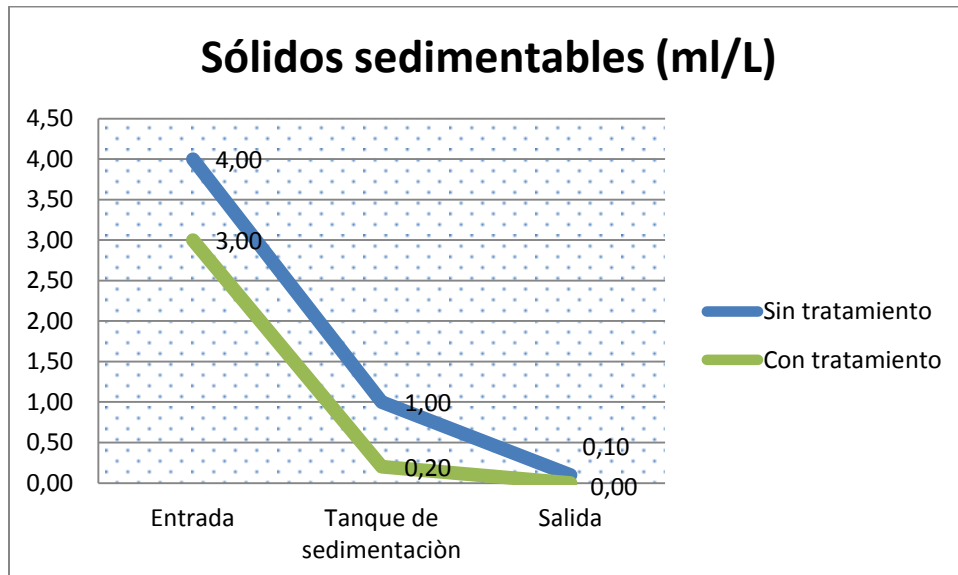


Gráfico 13. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos totales

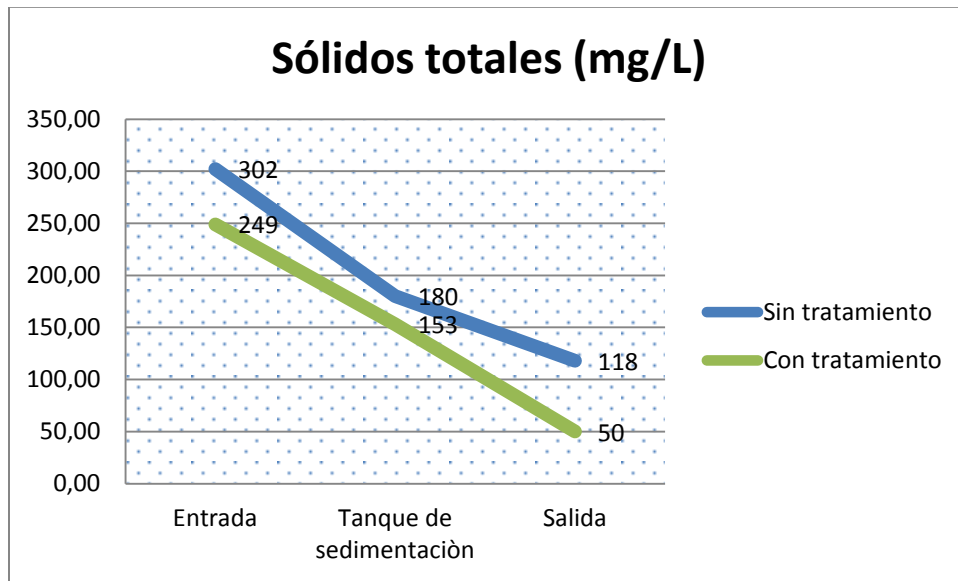


Gráfico 14. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos suspendidos totales

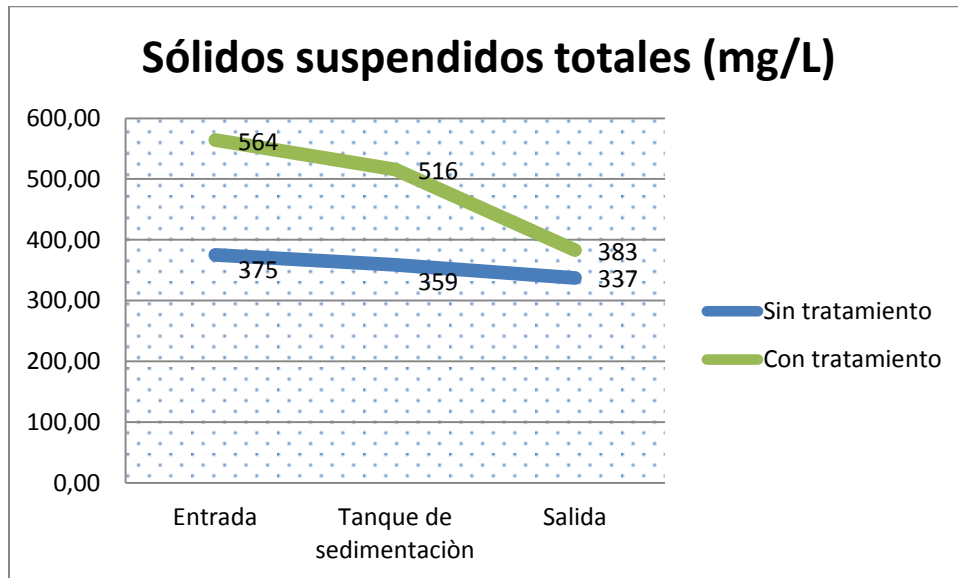


Gráfico 15. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sulfatos

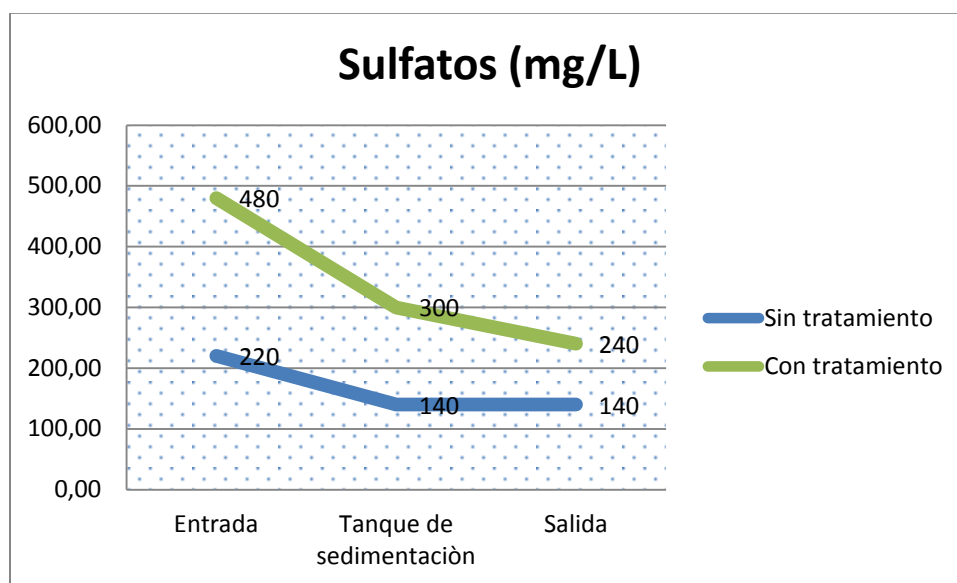
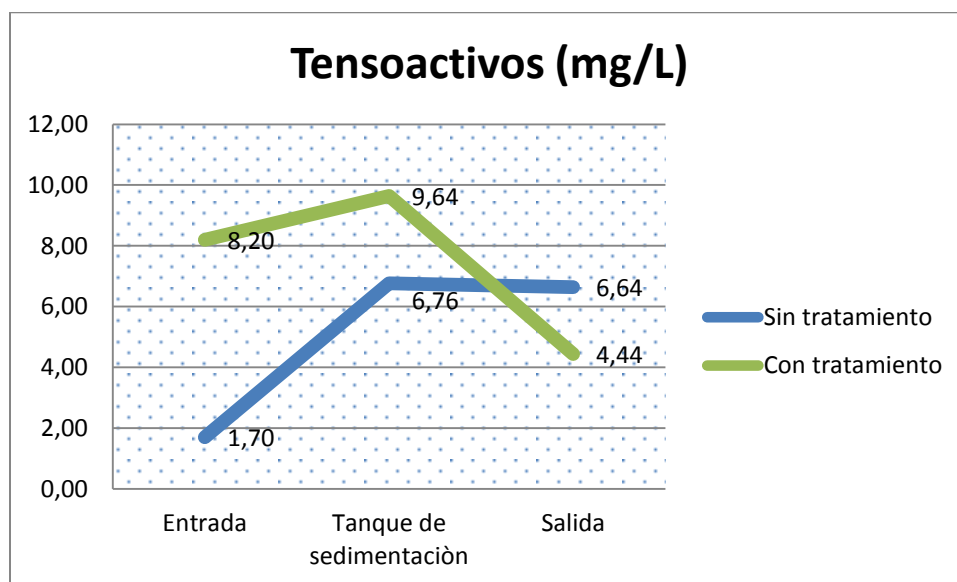


Gráfico 16. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para tensoactivos o detergentes



4.2 Interpretación de datos

En cuanto a las características biológicas de las aguas contaminadas, los microorganismos eficaces tienen un efecto indiscutible precisamente por su calidad de eficaces. Su habilidad de acción y reproducción impide el desarrollo de otros microorganismos (algunos patógenos) por competencia. Además, las condiciones antioxidantes antes explicadas, suprimen el desarrollo de microorganismos patogénicos (Higa y Chinen, 1998).

Los resultados obtenidos por la innovación e implementación biológica, teniendo en cuenta que es un proceso continuo de tratamiento, la mayoría de parámetros analizados globalmente por porcentajes Tabla A.4. (Anexo A) muestra mejoras en el proceso de tratamiento empleado, en los parámetros de aluminio, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos y tensoactivos ó detergentes, de estos parámetros mejorados DBO, DQO, sólidos suspendidos y tensoactivos no llegan a los límites de la norma utilizada en esta investigación como es el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), esto según Valderrama. et al (s/f) indica que las plantas acuáticas son un alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales ya sea por procesos de sedimentación, adsorción y remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica, esto en estudios experimentales con lechuguín en plantas pilotos de piscinas de tratamiento de aguas residuales arrojaron resultados favorables en la disminución de sulfatos, malos olores, y molestias causados por insectos, mientras que otros estudios en piscinas de degradación de aguas domésticas residuales utilizando Jacinto de agua se obtuvo un 17 % más de eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno que en piscinas de oxidación. Así también lo menciona Ávila. et al (2000) y Fiallos (2011), donde indican que al realizar la innovación biológica con “lechuguín” obtuvo mejora significativa en el tratamiento de aguas servidas en parámetros tales como DBO, DQO, sólidos disueltos totales, nitrógeno y fósforo.

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.

La planta es muy tolerante, y de alta capacidad de captación de metales pesados, tales como Cd, Cr, Co, Ni, Pb, Hg, etc. que podría ser utilizado para la biolimpieza de aguas residuales industriales (Metcalf y Eddy, 2004)

Los EM tuvieron un papel importante, pero las bacterias fototróficas (*Rhodopseudomonas spp*) constituyen el eje central de la actividad EM, debido a que son el sostén a las actividades de los otros microorganismos ya que sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y gases nocivos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuente de energía.

Cuando se aplica EM en un ambiente determinado y sus microorganismos fermentadores colonizan como se observa en la Imagen D.17 (Anexo D), se detiene el proceso de putrefacción, reemplazado por una intensa fermentación. Al detenerse la putrefacción, se suprime la generación de olores y muchos otros procesos ligados a la oxidación de materia orgánica, estudios cercanos como la realizada por Interagua en Guayaquil en piscinas de oxidación han arrojado satisfactorios resultados en el tratamiento de aguas contaminadas (Agearth Ecuador, 2013).

En cuatro parámetros no se logra mejorar el proceso de tratamiento como son cloruros, coliformes fecales, cromo hexavalente y nitratos, se considera que para estos parámetros los microorganismos eficientes (EM) empleados no son aptos para este tipo de contaminantes aun con la ayuda de una planta acuática y en el caso de los coliformes fecales al ser un proceso continuo de tratamiento los microorganismos no tienen el tiempo suficiente de interacción con el contaminante para descontaminar el agua debido a que siempre existe el ingreso de agua contaminada al igual que la planta acuática lechuguín aunque es un complemento importante en el proceso.

Debido al tiempo de retención necesario para tratar en agua contaminada en parámetros físico-químicos no se puede afirmar la influencia total de esta planta acuática, por previas investigaciones el tiempo estimado con resultados favorables son de 30 días en retención, mientras que en la planta de tratamiento tiene una duración de 35 minutos en contacto con el agua en la etapa modificada (Figura 17).

Por medio de la prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 con un nivel de confianza del 95 % para muestras homogéneas con los valores expresados en porcentajes para cada uno de los análisis, trece son los parámetros que muestras diferencia estadística entre tratamientos a excepción de coliformes fecales, potencial de hidrógeno y sólidos suspendidos.

4.3 Verificación de hipótesis

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación permiten rechazar la hipótesis nula que indica que “No existirá eficacia con la Innovación e Implementación biológica en la planta de Puerto Arturo – EMAPA-A para el tratamiento de aguas contaminadas”

En efecto, existió eficacia en el tratamiento de las aguas contaminadas de la planta de Puerto Arturo en 13 parámetros analíticos de 17 analizados.

Los cálculos realizados para cada parámetro pueden verse en el Anexo B análisis estadístico, tabla resumen de resultados en el Anexo A.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La implementación e innovación biológica en la estación de tratamiento Puerto Arturo – Ambato consistió en investigar la posibilidad de obtener descontaminación de las aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias que llegan a dicha estación.

Los dispositivos biológicos implementados consistieron en modificar la infraestructura del filtro de piedra descendente a un tanque mixto, aquí el agua interactuó con el lechuguín, de este tanque por medio de tubos PVC con perforaciones pasa a un filtro de piedra de forma homogénea por todo el tanque, a este filtro de piedra se le añadió arena de cuarzo, esto en conjunto ayudó al tratamiento de aguas contaminadas.

En la evaluación analítica realizada da como resultados un proceso de tratamiento continuo (ingreso permanente de agua) favorable en 13 parámetros como son aluminio, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos y tensoactivos o detergentes mejorados en el proceso de tratamiento Tabla A.4. (Anexo A),

En parámetros como cloruros, coliformes fecales, cromo hexavalente y nitratos, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios.

En coliformes fecales, la planta de tratamiento al recibir agua continuamente no tiene el tiempo de retención necesaria para su depuración, por el lechuguín al menos 30 días y por los microorganismos eficientes 15 días, la estación en todas sus etapas tiene un tiempo de retención aproximado de 65 horas.

En relación al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) de los parámetros mejorados que no logran estar por debajo de la norma luego del proceso de tratamiento son DBO, DQO, sólidos suspendidos y tensoactivos, pero mejoran porcentualmente en el tratamiento aplicado. En el potencial de hidrógeno (pH) la planta logra controlar el agua a un valor de 7.5 indistintamente de la carga contaminante del agua.

El olor es una característica organoléptica fácilmente receptada por los sentidos, en este caso el olfato, característica favorable que se percibió al siguiente día de la inoculación de los microorganismos eficientes (EM•1®), el control de olores fue una de las principales propiedades de este producto.

Se concluye que la innovación ejecutada en el presente trabajo de investigación puede calificarse de aceptable y que sirve como una alternativa que complementa el tratamiento habitual realizado en este tipo de plantas de tratamiento.

5.2 Recomendaciones

Se debe construir un dispositivo de control permanente de caudal con el fin de mantener estable el proceso, de esta manera evitar rebosos de agua durante el proceso que contaminen el suelo y generen malos olores.

Si se desea mantener un proceso de tratamiento continuo netamente orgánico en las estaciones de tratamiento con microorganismos eficientes se debe planificar un lugar de producción, de esta manera brindar utilidad al estudio realizado a favor del medio ambiente.

Para próximas investigaciones, es recomendable implementar equipos aireadores, accesorio fundamental para la recuperación de las aguas contaminadas, de esta manera se aporta oxígeno a la vez que se produce la agitación de los mismos, logrando una mezcla adecuada del agua residual y lodos.

Es necesario diseñar un plan de mantenimiento trimestral en las plantas de tratamiento con el fin de evitar el crecimiento de maleza y acumulación de escombros, además de evacuar periódicamente los lodos formados en los tanques y fosas sépticas para llevar a cabo mantenimiento de tuberías internas.

A lodos procedentes de los tanques de sedimentación y fosas sépticas se les debe añadir un tratamiento previo a su descarga de las plantas de tratamiento, muchos de los cuales podrían ser recuperados y utilizados como abonos orgánicos.

Para la realización del muestreo se debe tomar en cuenta normativas como las que dispone el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en su normativa técnica NTE INEN 2 176:1998 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo y la NTE INEN 2 169:98 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. que por su alto costo para su aplicación son difíciles de llevar a cabo.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos

Título	“Utilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas contaminadas Puerto Arturo EMAPA-A como biofertilizante sólido para suelos de cultivo”
Instituciones ejecutoras	Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica.
Beneficiarios	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA-A)
Ubicación	Estación de tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias “Puerto Arturo”
Tiempo estimado de ejecución	Ocho meses
Equipo técnico responsable	Dr. Ramiro Velasteguí, PhD Egdo. Paúl Veintimilla

6.2 Antecedentes de la propuesta,

Las aguas contaminadas provienen de diferentes fuentes, como pueden ser las industrias y las zonas habitacionales, por lo que están compuestas de partículas muy variadas, tanto en tamaño como en composición, refiriéndome solo al agua proveniente de una casa, esta trae consigo desperdicios alimenticios, grasas, desechos del inodoro, jabones utilizados en baños y para lavar ropa, y un sin número de materia orgánica e inorgánica que es desalojada, por esto es necesario hacer una división de los procesos de limpieza, simplificándolos y estableciendo los objetivos que se persiguen con cada sistema utilizado, para poder medir su eficacia (Rodie, 1987).

En el mundo, la utilización de los lodos residuales va en ascenso pues existen varias alternativas: recuperación de los aditivos colocados en el proceso de coagulación, mejorador de las propiedades del suelo, ya que puede reemplazar parcialmente el uso de fertilizantes comerciales, además de favorecer la asimilación de nutrientes incrementando la retención de agua. Esta es una alternativa tanto económica como ecológica de grandes beneficios, que puede contribuir en gran medida al saneamiento del entorno en el lugar de trabajo, ayudando así a disminuir los efectos nocivos que estos lodos producen al ser dispuestos a la intemperie, así lo dice Mujica, et.al. (2009) citado por Ruiz (2011).

Cuando el objetivo es producir un producto susceptible de venderse para uso doméstico o agrícola, los lodos, que ahora se describen como biosólidos (cuando tienen potencial de uso benéfico), se pueden estabilizar por conversión en abono, por lo común junto con desperdicios sólidos municipales o agrícolas. Si los lodos se van a incinerar, los mismos se desecan pero no se transforman en abono, porque la estabilización reduce el contenido volátil y por tanto el valor calórico de los lodos. En general, la selección de un tren de procesamiento de lodos depende en gran medida del método de eliminación o uso final.

Las cantidades de lodos por procesar varían con el tipo de proceso de tratamiento de aguas residuales que se emplea. El volumen de lodos que se produce por sedimentación gravitatoria se puede determinar si se conoce el porcentaje de separación (SS) y la concentración del material sedimentado. Las cantidades que se produce por procesos biológicos aerobios depende de la carga de DBO (Glynn, 1999).

En el Ecuador especialmente en la ciudad de Cuenca la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta también con un silo para almacenamiento de lodo deshidratado y sistema automático de pesaje y registro. Con ello se extrae los lodos acumulados en las lagunas airadas y facultativas sin interferir en los procesos, de tal forma que se recupere la capacidad de tratamiento y el volumen útil perdido por la acumulación de los lodos. Conducir y deshidratar los lodos, reducir su volumen y facilitar su transporte y disposición final, evitando inconvenientes ambientales (Cáceres, 2012).

En Ambato, ciudad situada en el centro de Ecuador, las plantas potabilizadoras de agua generan una gran cantidad de lodos provenientes del proceso de potabilización, donde el volumen de dichos lodos representa una gran cantidad de sólidos y de reactivos adicionados, tal es el caso del policloruro de aluminio que, por sus componentes como son las sales de aluminio, puede afectar en la mayoría de los casos a los suelos ácidos, ya que las altas concentraciones de Aluminio en la solución del suelo, puede inhibir la absorción de calcio y magnesio por parte de las plantas según Bernier, et. al (2006) citado por Ruiz (2011). Ha esto se la añade los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas contaminadas.

Ruiz (2011), en su estudio "Utilización de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua de la planta de tratamiento "Casigana", como aditivo para suelos de cultivo" con el objeto de determinar una alternativa para el uso de los lodos residuales de las plantas potables, realizó una experiencia utilizando los mismos como aditivo en suelos de cultivo, específicamente con maíz (*Zea mays*) y brócoli (*Brassica oleracea*) como plantas control, durante 3 meses evaluó el comportamiento de las plantas obteniendo un tratamiento ideal de 6 Kg/m² en ambas plantas + 50% fertilizante químico para los parámetros altura, calibre y número de hojas.

6.3 Justificación

La disposición de los lodos sépticos es un problema socio-ambiental que enfrentan las ciudades. Los lodos al ser tratados se pueden disponer adecuadamente, utilizándolos como acondicionador de suelos por sus potenciales concentraciones de nutrientes como lo son: fósforo, nitrógeno, hierro, manganeso y zinc, los mismos que pueden ser de gran utilidad en el área agrícola, pues el nitrógeno es indispensable para la vida de las plantas, particularmente cuando se desea favorecer el desarrollo de hojas, por lo tanto es de gran valor para fertilizar pastos y lechugas. El fósforo es vital para muchas de las etapas de desarrollo en vegetales; ya que acelera la madurez y fortalece las raíces; también aumentan su capacidad de retención de agua, mejorando la calidad del cultivo, haciendo posibles las labores agrícolas en suelos pesados, además que disminuyen la erosión de los mismos (Mujica, et.al., 2009).

Al buscar el aprovechamiento de los lodos sépticos como biofertilizante en suelos de cultivo, se puede utilizar estos recursos como fuente de microorganismos e inhibir, o eliminar, su potencial de putrefacción y, consecuentemente, su potencial de producción de olores y poder ser reutilizados como material de uso agrícola (Fioravanti et al, 2005).

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo general

Aplicar los lodos generados en la planta de tratamiento Puerto Arturo EMAPA-A como biofertilizante en suelos para cultivo del sector.

6.4.2 Objetivos específicos

Implementar un procedimiento de disposición adecuada de lodos residuales en la planta de tratamiento.

Determinar el potencial aprovechable de los lodos como biofertilizante a partir de sus características microbiológicas, físicas y químicas.

Aplicar lodos residuales en suelos de cultivo para papa o patata (*Solanum tuberosum*).

6.5 Análisis de factibilidad

La investigación a desarrollarse es de tipo investigativo y experimental, con ello se puede analizar la importancia del tratamiento de los lodos residuales y la eficacia del proceso a emplearse en su recuperación y posterior posible aplicación a cultivos agrícolas, aprovechando los recursos naturales mediante un tratamiento netamente orgánico.

El análisis de factibilidad además incluye el carácter económico, ya que se puede aprovechar recursos naturales actualmente desechados al medio ambiente sin previo tratamiento, pues se puede obtener una fuente de ingreso adicional en la producción de abonos orgánicos a bajo costo.

Tabla 10. Análisis económico de la propuesta (tiempo 8 meses)

Recursos Humanos	Institución	Graduado
Tutor	250	
Graduado		250
Recursos Físicos		
Materia prima		200
Análisis físico químicos y microbiológicos	1500	
Otros Recursos		
Transporte		50
Imprevistos		50
Publicaciones		50
Subtotal	1750	600
Total	2350	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

6.6 Fundamentación

Los métodos de tratamiento de aguas residuales nos conducen a separar la contaminación que contienen en forma de suspensión de materias sólidas produciéndose una gran cantidad de lodos residuales los cuales deben ser tratados para su estabilización o a su vez aprovechados ya que están constituidos mayormente por materias orgánicas con carácter fermentativo, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas tecnológicas y cambios en las políticas de manejo que permitan generar residuos no peligrosos y estables para su correcta disposición o reaprovechamiento todo esto debido al descuido que existe en el manejo de lodos residuales y la manera de disponerlos de forma segura al medioambiente (Orozopena, 2006).

El lodo puede ser considerado como un recurso o como un residuo; ya que supone una importante fuente de materias orgánicas y nutrientes aplicada al suelo, comparable en varios aspectos a los estiércoles de ganado. Sin embargo puede contener también algunos elementos contaminantes que es preciso controlar para que no sea considerado como residuo

En función del proceso que han sufrido, podemos definir distintos tipos de lodo:

Lodo tratado: son los lodos residuales procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales domésticas o urbanas y de aguas residuales de composición asimilable a urbana, así como los procedentes de fosas sépticas y de otras instalaciones de depuración similares utilizadas para el tratamiento de aguas residuales, tratados por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca, de manera significativa, su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización.

Lodo deshidratado: son los lodos tratados sometidos a un proceso de pérdida de agua por procedimientos físico-mecánicos o térmicos previos a su utilización en la agricultura. Los contenidos en humedad suelen ser superiores al 80%.

Lodos pastosos: son los lodos deshidratados con un contenido en materia seca entre 30-50%.

Lodos secados: son lodos tratados con un contenido en humedad inferior al 70%.

Lodos secados térmicamente: son lodos tratados con un contenido en humedad inferior al 10%.

Lodos compostados: son los lodos tratados sometidos a un proceso de transformación biológica aerobia, con la finalidad de obtener un producto estable y no fitotóxico. El compostaje se realiza con adición de otros residuos o productos (Irañeta et. al., 2013).

6.7 Metodología

6.7.1 Toma de muestra

A partir de la fase A que comprende el estanque de secado de lodos (Figura 10), se obtiene al evacuar el tanque sedimentador.

6.7.2 Compostaje de lodos residuales

Uno de los tratamientos que desde siempre se ha aplicado para estabilizar la materia orgánica es el compostaje. Es un sistema de fundamento sencillo, versátil y puede aplicarse a diferentes tipos de materiales; se le considera económico y ecológico. Se ha comprobado que existe el peligro de confundir sencillez con descontrol o improvisación. El compostaje exige unas condiciones de trabajo que deben cuidarse y unas señales de alerta que tienen que saberse interpretar; en caso contrario deja de ser económico y ambientalmente aceptable.

El compostaje se desarrolla en dos fases (descomposición y maduración) que deben diferenciarse, claramente y tenerse en cuenta en el diseño de una planta por sencilla que sea, estableciendo, para cada una de ellas, dinámicas de control adecuadas.

La fase de descomposición depende totalmente del tipo de material a tratar y de las características del sistema a aplicar, puede dividirse en tres etapas: una inicial mesofílica durante la cual diversas familias de microorganismos inician la descomposición de los compuestos fácilmente degradables, provocando un incremento de la temperatura y en la que el pH desciende debido a la formación de ácidos orgánicos. La etapa termofílica en la que van apareciendo los microorganismos termofílicos y en la que la temperatura supera los 40°C. Si se alcanza los 60°C los hongos se inactivan y la descomposición es llevada a cabo por actinomicetos y bacterias formadoras de esporas.

Las sustancias fácilmente degradables, como azúcares, grasa, almidón y proteínas, son rápidamente consumidos y la mayoría de patógenos humanos y vegetales son destruidos; el pH se va alcalinizando al liberar amoníaco las proteínas; a su vez la celulosa y ligninas son parcialmente alteradas.

En la tercera etapa, la temperatura empieza a disminuir, hongos termofílicos reinvaden el material a compostar y la celulosa y hemicelulosa siguen sufriendo cierta transformación. Estas tres etapas duran de unas pocas semanas a varios meses dependiendo del material a compostar y de las condiciones de trabajo. La fase de descomposición es la más exigente del proceso y el no realizarla en condiciones adecuadas condiciona la continuación del proceso, la aparición de problemas de lixiviados y malos olores, además de influir en la calidad del producto final.

La maduración depende del tipo de material que se ha tratado, pero su duración y las condiciones en que se deba llevar a cabo dependerán mucho del destino final del producto (en particular en el caso de fabricación de substratos) y como se hayan desarrollado las etapas anteriores. Requiere de pocas semanas a varios meses; en ella se genera mucho menos calor y el pH se mantiene ligeramente alcalino. En esta fase los microorganismos mesófilos, al igual que diversos tipos de microfauna colonizan el compost medio maduro. Se genera una intensa competición por los alimentos, formación de antibióticos y aparición de antagonismos; obteniéndose al final un producto, más o menos estable, según la duración de la última fase.

6.7.3 Condiciones del proceso

De hecho las condicionantes del proceso se refieren a aquellos que afectan a “los actores principales” (microorganismos: bacterias, hongos y actinomicetos) a los que, simplemente, en el diseño de una planta de tratamiento se les tiene que facilitar las condiciones de trabajo. Estos condicionantes biológicos junto con los físicos (transferencia de masa y energía) son los principios básicos que gobiernan el proceso.

Los lodos tienen una composición y unas características físicas poco adecuadas para el compostaje (exceso de agua y de nitrógeno; muy pastoso). Deben mezclarse con otros materiales de características complementarias:

- Menor contenido en humedad y nitrógeno
- Mejor estructura
- Relación C/N equilibrada
- Proporción adecuada en biopolímeros

Es aconsejable mezclarlos con materiales residuales ricos en celulosa y ligninas. En algunas plantas se mezcla con trozos de madera grandes que, aunque teóricamente dan una relación C/N teórica correcta, no lo es en la práctica debido a que en realidad el carbono que contiene no es asimilable (dificultad en ser atacado por los microorganismos), y, por tanto, la relación C/N real es mucho menor; esto provoca fuertes desprendimientos de amoníaco y una incompleta transformación de la mezcla. El producto obtenido puede tener ciertos usos pero no se le puede considerar un material bien estabilizado.

En otros casos los lodos se mezclan con serrín u otros restos carbonados de tamaño de partícula muy pequeño; en este caso la mezcla equilibra bien el contenido en agua y la relación C/N, pero carece de la suficiente aireación y pueden crearse problemas de anaerobiosis

Lo más ventajoso sería poder mezclar con restos vegetales de distintos tamaños y composición, lo que permitiría por una parte, mejorar la aireación de la mezcla y, por otra, aportar el equilibrio en biopolímeros y relación C/N necesarias (Soliva, 2004).

6.7.4 Preparación del proceso para cultivo

Preparación de la muestra. Esparcir la muestra de terreno en una bandeja de plástico (papel periódico). Eliminar los residuos grandes de plantas, rocas, piedras. Secar al aire. Una vez seca, moler la muestra y tamizarla a través de un tamiz de 2 mm y homogenizar.

Preparación del terreno.

Como primer paso se procede con la limpieza del terreno, quitando piedras y maleza, dejando un total disponible necesario para el estudio.

Incorporación de lodos residuales

Utilizando una balanza, se mide las cantidades de 3 kg/m², 6 kg/m², 9Kg/m² de lodos residuales que se incorporaron respectivos cuadrantes o cantidades sugeridas por el investigador.

Realizar la homogenización del suelo con su respectiva cantidad de lodos residuales mediante un rastrillo y otra sin biofertilizante.

Se procede con la siembra, utilizando para ello papa o patata elegida por el investigador.

Sistema de riego recomendado método de aspersión (Ruíz, 2011).

6.8 Administración

La ejecución de la propuesta estará coordinada por los responsables del proyecto Dr. Ramiro Velasteguí y Egdo. Paúl Veintimilla.

Tabla 11: Administración de la propuesta

Indicadores a mejorar	Situación actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Tratamiento de lodos residuales	Mala disposición de los desechos al medio ambiente	Aprovechamiento de los lodos residuales post-tratamiento. Análisis físico-químicos y microbiológicos del proceso elegido de tratamiento	Análisis físico químicos y microbiológicos, elección del mejor tratamiento de lodos residuales. Aprovechamiento de recursos	Docente: Ing. Ramiro Velasteguí, MSc, PhD Investigador: Egdo: Paúl Veintimilla

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

6.9 Previsión de la evaluación.

Determinación del mejor tratamiento para una mejor disposición de los desechos procedentes del tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias Puerto Arturo EMAPA-A mediante análisis físico-químicos y microbiológicos en suelos de cultivo, como sugerencia papa o patata (*Solanum tuberosum*).

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

Asociación de graduados de la Universidad de la Earth Ecuador /Agearth. 2013. La tecnología EM. Disponible en: http://agearthecuador.org/web/?page_id=667

American public health association (APHA) / American water works association (AWWA) / Water environment federation, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. washington DC, USA. 20th Edition.

APHA-AWWA-WPCF, 1992. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Edición Díaz de Santos, Madrid – España.

Ávila. J. Castillo. D. Zárate. W. 2000. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola. Tesis de Ingeniero Agricultor. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 96p.

Bellamy, M; Horsley, B. 2002. Options for advanced on-site treatment. Proceeding of 7th international conference of Kyusei Nature Farming (in press).

Benítez. I. L. 2008. Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) Y TUL (*Thypha spp*) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales La Cerra, villa canales por medio de fluorescencia de rayos x. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del medio ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 104p.

Bernier, Rene y Alfaro, Marta. 2006. Acidez de los suelos y Efectos del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Osorno – Chile. Disponible en: <http://www.traderargentina.com.ar/chile.pdf>

Cáceres, D. 2012. En funcionamiento una planta para tratamiento de lodos. Temas de interés regional. El Telégrafo. Disponible en: <http://www.telegrafo.com.ec/regionales/regional-sur/item/en-funcionamiento-una-planta-para-tratamiento-de-lodos.html>

Chang. J. s/f. Calidad del agua. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. s/f. 72p.

Cifuentes. N. 2008. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la cuenca del Guadiana. experiencias de manejo. Especies invasoras experiencias en el control. Organizada por Tragsa. España 1 de Diciembre 2008. 67p.

Constitución de la República del Ecuador. 2008, 179p.

Cordero, M. E. 1998. Principales problemas ambientales de Venezuela. Fundambiente. 2da Edición. Caracas.

EM Research Organization (EMRO), 2013. America Latina, Effective Microorganisms, Portal oficial de la tecnología EMTM en America Latina. México DF. Disponible en: http://www.em-la.com/medio_ambiente.php?idioma=1

Enkerlin E, Cano G, Garza R, Vogel E. 1997. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Primera Edición. International Thomson Editores. México. Pág. 411.

Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado Y saneamiento de Cuenca (E.T.A.P.A). Gestión ambiental - Tratamiento de aguas residuales. Modificado martes, 09 de octubre de 2012 15:15:44. Disponible en: http://www.etapa.net.ec/DGA/DGA_tra_agu_res_inf_gen.aspx

Fiallos, L. 2011. Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la Estación “El Peral”, Emapa-Ambato. Tesis Ing. Bioq. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica. Universidad Técnica de Ambato. 88p. Consultado en: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1897> (12/02/2012)

Fioravanti, M. Vega, N. 2003. Eficiencia de microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su reuso agrícola. Proyecto de graduación. Guácimo, Costa Rica, EARTH. 58pp.

Fioravanti, M. Vega, C. Hernández, S. Okumoto, J. Yeomans. 2005. Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo. Limón. Costa Rica. Disponible en: http://www.em-la.com/archivos-de_usuario/base_datos/estabilizacion_lodos_septicos.pdf

Glynn, H.J. y Heinke, G.W. 1999. Ingeniería Ambiental. Segunda edición. Pearson Education. México DF. Pág 474 – 475.

Hach Company. 2000. Manual de Análisis de Agua. Segunda edición en español. Loveland, Colorado, EE.UU.

Hach Lange, 2005. DR 5000 Espectrofotómetro. Métodos. Hach Company, Alemania. Edición 1.

Herrera, E.L. Medina, F.A. Naranjo, L.G. s/f, Tutoría de la investigación Científica, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 252p.

Higa, T. 1993. Una revolución para salvar la tierra. Traducido por Del Mar Riera. EMRO, España. 332 p.

Higa, T; Chinen, N. 1998. EM treatments of odor, waste water and environmental problems. College of Agriculture, University of Ryukyus, Okinawa, Japan.

Honorable gobierno provincial de Tungurahua (HGPT). 2012. Sistema de Alcantarillado Sanitario. Memoria Técnica. Dirección de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. [02/05/2012].

Irañeta, J; Amorena, A; Blázquez, S y Jimenez, J. 2.13. Valoración agronómica del lodo de depuradora. Parte I. aspectos generales del lodo como fertilizante, tipos de lodo, legislación, calidad del producto y gestión. Navarra Agraria, Navarra – España.

Kabongo, P. 2002. Testing of viability of known pathogens in Effective Microorganisms (EM). Report EMROSA project. Onderstepoort Veterinary Institute, South Africa. 2p.

Levin M y Gealt M. 1997. Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Primera Edición. McGraw-Hill. España. Pág 256.

Luzuriaga, C. Sandoval, F. Hoffman, M. Jurado, J. Cuesta, F. 1982. Manual de Evaluación Ambiental para Proyectos de Inversión. Segunda Edición. Imprenta de la Corporación Financiera Nacional. Quito – Ecuador. Pág. 214.

Margalef, R. 1991. *Ecología*. Editorial Omega, Barcelona. 951 p.

Metcalf & Eddy. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen II Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera Edición (Primera en Español), McGraw Hill.

Metcalf & Eddy, 2004. Wasterwater Engineering - Treatment and Reuse -Fourth Edition- Pág. 63.

Mujica, V; Pérez, C; Ledezma, G; Ortega, M. 2009. Propuesta Técnica para el Tratamiento y Disposición Final de los Lodos Provenientes de una Planta Potabilizadora. Venezuela. Disponible en:
http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/VE05190_Mujica.pdf

Nebel B y Wright R. 1999. Ciencias Ambientales Ecología y desarrollo sostenible. Sexta Edición. Prentice Hall. México. Pág 322.

Ojeda, T. 2004. Manual de análisis de aguas. Instituto Tecnológico Superior De Irapuato. México. 129pp.

Organización mundial de la salud (OMS), 1997. Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera

edición Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud. Disponible (en inglés) en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines4/es/index.html

Oropeza, N. 2006. Lodos residuales estabilización y manejo. Universidad de Quintana Roo. Departamento de ingeniería. México. Disponible en:
http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

Páez. C. G. 2009. Determinación de coliformes fecales y totales en expendio de alimentos en establecimientos formales en el macro distrito centro de la ciudad de la Paz de septiembre a diciembre de 2007. Tesis en licenciatura en Bioquímica. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 76p.

Paredes V. 2004. Plan de Acción Tratamiento de Aguas Residuales. EMAPA. Ambato – Ecuador. Págs. 1 – 15. Disponible en:
http://epemapaa.gob.ec/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=95

Peña, E. Chang, J. 2007. Calidad de agua. Trabajo de investigación oxígeno disuelto. Ing. en auditoría y control de gestión. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). 6p. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

Pozo, C.G. 2012. Fitorremediación de las aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo. Salcedo–Cotopaxi. Tesis Maestría en Producción Más Limpia (PML). Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. 162p. Consultado en:
[http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1939/MSc.%2024pdf?sequence=1\(25/06/2012\)](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1939/MSc.%2024pdf?sequence=1(25/06/2012))

Reynolds A. 2002. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema. Disponible en:
<http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>

Rodie B. Edward y Hardenberg. 1987. Ingeniería Sanitaria. Editorial Continental S.A. de C.V. México D.F.

Rodríguez M. 2006. Microorganismos Eficientes (EM). Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes. Colombia. Disponible en:
http://aia.uniandes.edu.co/Documentos/ARTICULO%20EM%20_Manuel%20R..pdf

Rodriguez A. 2006. Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales. Editorial Elecé. Madrid – España. Pag. 10. Disponible en:
http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

Romero J (2004), "Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de diseño", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.

Romero. J.A. 2002. Calidad del agua. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 403p.

Ruíz, F. 2011. Utilización de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua de la planta de tratamiento Casigana, como aditivo para suelos de cultivo. Emapa-Ambato. Tesis Ing. Bioq. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica. Universidad Técnica de Ambato. 185p. Consultado en: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1902>

Salgado M. 2011. Legislación Ambiental en Ecuador. Educación Ambiental. Disponible en: <http://gestionambientaleda.blogspot.com/2011/04/legislacion-ambiental-en-ecuador.htm>

Soliva, M.; Huerta, O. 2004. Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas. Escuela superior de agricultura de Barcelona. UPC. Disponible en: http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articulos_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf

Tópicos en Ecología. 2003. Ecosistemas de agua dulce sustentables. Revista Científica Nro10. Sociedad Norteamericana de Ecología. Disponible en: http://www.esa.org/science_resources/issues/FileSpanish/issue10.pdf

Texto unificado de legislación ambiental, 2010. Tulas. Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

Valderrama, L. Campos, C. Velandia, S. Y Zapata, N. s/f. Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna* sp. y *I. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. Disponible en: <http://www.ensode.net/pdf-crack.jsf>

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

Villalón J y Orantes J. 2008. Cinéticas de degradación de contaminantes orgánicos en reactores biológicos de tratamientos de aguas residuales. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Viteri M.A. 2013. Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de

tratamiento "el peral" EP-EMAPA - Ambato. Proyecto para la obtención del título de maestría. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Agronómica. Ecuador.

Wididana, G. 1994. Preliminary experiment on EM technology on wastewater treatment. Proceeding of the third conference on Effective Microorganisms (EM). Kyusei Nature Farming Center, Indonesia.

Zarela, M. Garcia, T. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis Ing. Sanitario. Facultad de Ingeniería Ambiental. Carrera de Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional de Ingeniería. 282p. Disponible en: http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf

Zayas M. 2010. El Rombo de las investigaciones de las Ciencias Sociales. Universidad de Málaga. Eumed.net.

ANEXOS

Anexo A

Tablas de resultados

PRIMERA ETAPA

Tabla A.1. Análisis realizados previa innovación e Implementación biológica

Parámetro	UNIDAD	TULAS	Etapa		
			Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	5	0,200	0,780	0,300
Cloruros	mg/L	1000	298	362	286
Coliformes fecales	NMP/100ml	3000	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,600	1,340	0,640
DBO	mg/L	100	274	323	226
DQO	mg/L	250	669	1014	919
Fluoruros	mg/L	5	38,4	25	21,6
Fosforo total	mg/L	10	34,00	29,80	26,60
Hierro total	mg/L	10	0,40	2,00	1,40
Nitritos	mg/L	10	0,300	0,380	0,340
Nitratos	mg/L	10	36	46	26
pH		5 - 9	9	8	7,5
Sólidos Sedimentables	ml/L	1	4	1	0,1
Sólidos totales	mg/L	1600	302	180	118
Sólidos suspendidos	mg/L	100	375	359	337
Sulfatos	mg/L	1000	220	140	140
Tensoactivos	mg/L	0,5	1,7	6,76	6,64

Fuente: Laboratorio de control de calidad de aguas EMAPA-A y Texto Unificado de Legislación Ambiental y Saneamiento TULAS (Tabla 7).

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

SEGUNDA ETAPA

Tabla A.2. Análisis realizados posterior a la innovación e implementación biológica

Parámetro	UNIDAD	TULAS	Etapa		
			Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	5	0,380	0,140	0,120
Cloruros	mg/L	1000	102	178	178
Coliformes fecales	NMP/100ml	3000	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,300	0,720	0,580
DBO	mg/L	100	213	208	126
DQO	mg/L	250	359	551	330
Fluoruros	mg/L	5	0,2	0,10	0,0
Fosforo total	mg/L	10	17,80	15,20	4,80
Hierro total	mg/L	10	0,40	0,20	0,20
Nitritos	mg/L	10	0,240	0,180	0,180
Nitratos	mg/L	10	16	24	22
pH		5 ... 9	8	7,5	7,5
Sólidos sedimentables	ml/L	1	3	0,2	0
Sólidos totales	mg/L	1600	249	153	50
Sólidos suspendidos	mg/L	100	564	516	383
Sulfatos	mg/L	1000	480	300	240
Tensoactivos	mg/L	0,5	8,2	9,64	4,44

Fuente: Laboratorio de control de calidad de aguas EMAPA-A y Texto Unificado de Legislación Ambiental y Saneamiento TULAS (Tabla 7).

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla A.3 Resultados obtenidos durante la implementación e innovación biológica

Parámetro	Unidad	TULAS	Tratamiento	Etapa		
				Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	5	Sin	0,200	0,780	0,300
			Con	0,380	0,140	0,120
Cloruros	mg/L	1000	Sin	298	362	286
			Con	102	178	178
Coliformes fecales	NMP/100ml	3000	Sin	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
			Con	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	Sin	0,600	1,340	0,640
			Con	0,300	0,720	0,580
DBO	mg/L	100	Sin	274	323	226
			Con	213	208	126
DQO	mg/L	250	Sin	669	1014	919
			Con	359	551	330
Fluoruros	mg/L	5	Sin	38,4	25	21,6
			Con	0,2	0,10	0,0
Fosforo total	mg/L	10	Sin	34,00	29,80	26,60
			Con	17,80	15,20	4,80
Hierro total	mg/L	10	Sin	0,40	2,00	1,40
			Con	0,40	0,20	0,20
Nitritos	mg/L	10	Sin	0,300	0,380	0,340
			Con	0,240	0,180	0,180
Nitratos	mg/L	10	Sin	36	46	26
			Con	16	24	22
pH		5 .. 9	Sin	9	8	7,5
			Con	8	7,5	7,5
Sólidos sedimentables	ml/L	1	Sin	4	1	0,1
			Con	3	0,2	0
Sólidos totales	mg/L	1600	Sin	302	180	118
			Con	249	153	50
Sólidos suspendidos	mg/L	100	Sin	375	359	337
			Con	564	516	383
Sulfatos	mg/L	1000	Sin	220	140	140
			Con	480	300	240
Tensoactivos	mg/L	0,5	Sin	1,7	6,76	6,64
			Con	8,2	9,64	4,44

Fuente: Laboratorio de control de calidad de aguas EMAPA-A y Texto Unificado de Legislación Ambiental y Saneamiento TULAS (Tabla 8)

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla A.4. Comparativa entre etapas de análisis durante la implementación e innovación biológica

TABLA DE PORCENTAJES				
Parámetro	Tratamiento	Entrada / Tanque de sedimentación	Tanque de sedimentación / Salida	Global de recuperación
Aluminio	Sin	-45,31%	37,50%	-7,81%
	Con	37,50%	3,13%	40,63%
Cloruros	Sin	-6,77%	8,03%	1,26%
	Con	-16,59%	0,00%	-16,59%
Cromo hexavalente	Sin	-28,68%	27,13%	-1,55%
	Con	-26,25%	8,75%	-17,50%
DBO	Sin	-5,95%	11,79%	5,84%
	Con	0,91%	14,99%	15,90%
DQO	Sin	-13,26%	3,65%	-9,61%
	Con	-15,48%	17,82%	2,34%
Fluoruros	Sin	15,76%	4,00%	19,76%
	Con	33,33%	33,33%	66,66%
Fosforo total	Sin	4,65%	3,54%	8,19%
	Con	6,88%	27,51%	34,39%
Hierro total	Sin	-42,11%	15,79%	-26,32%
	Con	25,00%	0,00%	25,00%
Nitritos	Sin	-7,84%	3,92%	-3,92%
	Con	10,00%	0,00%	10,00%
Nitratos	Sin	-9,26%	18,52%	9,26%
	Con	-12,90%	3,23%	-9,67%
pH	Sin	4,08%	2,04%	6,12%
	Con	2,17%	0,00%	2,17%
Sólidos sedimentables	Sin	58,82%	17,65%	76,47%
	Con	87,50%	6,25%	93,75%
Sólidos totales	Sin	20,33%	10,33%	30,66%
	Con	21,24%	22,79%	44,03%
Sólidos suspendidos	Sin	1,49%	2,05%	3,54%
	Con	3,28%	9,09%	12,37%
Sulfatos	Sin	16,00%	0,00%	16,00%
	Con	17,65%	5,88%	23,53%
Tensoactivos	Sin	-33,51%	0,79%	-32,72%
	Con	-6,49%	23,34%	16,85%

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla A.5. Valor de Ji cuadrado teórico X^2 : 3.841 (1 grado de libertad)
 Si el valor de X^2 calculado es mayor (>) al X^2 de tablas se rechaza la hipótesis nula.
 Tabla de comprobación de hipótesis entre X^2 calculado y X^2 de tablas

Parámetro	X^2 calculado	Significancia
Aluminio	17,44	*
Cloruros	50,70	*
Cromo hexavalente	5,11	*
DBO	36,74	*
DQO	24,10	*
Fluoruros	104,86	*
Fosforo total	6,61	*
Hierro total	23,93	*
Nitritos	33,66	*
Nitratos	17,74	*
pH	0,99	
Sól. Sedimentables	602,41	*
Sól. Totales	13,66	*
Sól. Suspendidos	1,19	
Sulfatos	119,95	*
Tensoactivos	40,21	*

(*). Indica diferencia estadística entre tratamientos.

Fuente: Programa de cálculo Microsoft Excel 2010

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Anexo B

Análisis estadístico

Prueba no paramétrica Ji cuadrado X^2

O_i : Frecuencia observada

E_i : Frecuencia esperada

$$X^2 = \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

α : 0,05

gl: $(2-1)*(2-1) = 1$

X^2 tab: 3,841

Cálculo de frecuencias

$$E_{in} = \frac{(\sum \text{filas} - \sum \text{Columnas})}{\text{Total}}$$

HIPÓTESIS

H_0 : No existe diferencia significativa entre resultados

H_1 : Existe diferencia significativa entre resultados

ALUMINIO

Tabla B.1. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para aluminio

Etapa	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	0,20	15,63	-45,31	0,38	59,38	37,50
Tanque de sedimentación	0,78	60,94	37,50	0,14	21,88	3,13
Salida	0,30	23,44		0,12	18,75	
Total	1,28	100		0,64	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.1.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para aluminio

ALUMINIO %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	$\sum f$
Entrada / Tanque de sedimentación	45,31	37,50	82,81
Tanque de sedimentación / Salida	37,50	3,13	40,63
$\sum c$	82,81	40,63	123,44

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.1.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado χ^2 en porcentajes para aluminio

Frecuencias	Ei	Oi	χ^2	Hipótesis
E1	55,56	45,31	1,89	Rechazo Ho
E2	27,25	37,50	3,85	
E3	27,25	37,50	3,85	
E4	13,37	3,13	7,85	
χ^2			17,44	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

CLORUROS

Tabla B.2. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para cloruros

Etapa	Sin tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ
Entrada	298,00	31,50	-6,77	102,00	22,27	-16,59
Tanque de sedimentación	362,00	38,27	8,03	178,00	38,86	0,00
Salida	286,00	30,23		178,00	38,86	
Total	946,00	100		458,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.2.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado χ^2 para cloruros

CLORUROS %			
	Sin tratamiento Oi	Con tratamiento Oi	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	6,77	16,59	23,36
Tanque de sedimentación / Salida	8,03	0,00	8,03
Σc	14,80	16,59	31,39

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.2.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para cloruros

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	11,01	6,77	1,64	Rechazo H_0
E_2	12,35	8,03	1,51	
E_3	3,79	16,59	43,31	
E_4	4,25	0,00	4,25	
X^2			50,70	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

CROMO HEXAVALENTE

Tabla B.3. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para cromo hexavalente

Etapas	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	0,60	23,26	-28,68	0,30	18,75	-26,25
Tanque de sedimentación	1,34	51,94	27,13	0,72	45,00	8,75
Salida	0,64	24,81		0,58	36,25	
Total	2,58	100		1,60	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.3.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para cromo hexavalente

CROMO HEXAVALENTE %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	28,68	26,25	54,93
Tanque de sedimentación / Salida	27,13	8,75	35,88
Σc	55,81	35,00	90,81

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.3.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para cromo hexavalente

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	33,76	28,68	0,76	Rechazo H_0
E_2	21,17	27,13	1,68	
E_3	22,05	26,25	0,80	
E_4	13,83	8,75	1,87	
X^2			5,11	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Tabla B.4. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para DBO

Etapas	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	274,00	33,29	-5,95	213,00	38,94	0,91
Tanque de sedimentación	323,00	39,25	11,79	208,00	38,03	14,99
Salida	226,00	27,46		126,00	23,03	
Total	823,00	100		547,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.4.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para DBO

DBO %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	5,95	0,91	6,87
Tanque de sedimentación / Salida	11,79	14,99	26,78
Σc	17,74	15,90	33,64

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.4.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para DBO

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	3,62	5,95	1,50	Rechazo H_0
E_2	3,25	11,79	22,46	
E_3	14,12	0,91	12,35	
E_4	12,66	14,99	0,43	
X^2			36,74	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Tabla B.5. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para DQO

Etapas	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	669,00	25,71	-13,26	359,00	28,95	-15,48
Tanque de sedimentación	1014,00	38,97	3,65	551,00	44,44	17,82
Salida	919,00	35,32		330,00	26,61	
Total	2602,00	100		1240,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.5.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para DQO

DQO %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	13,26	15,48	28,74
Tanque de sedimentación / Salida	3,65	17,82	21,47
Σc	16,91	33,31	50,22

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.5.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para DQO

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	9,68	13,26	1,32	Rechazo H_0
E_2	19,06	3,65	12,46	
E_3	7,23	15,48	9,42	
E_4	14,24	17,82	0,90	
X^2			24,10	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

FLUORUROS

Tabla B.6. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para fluoruros

Etapas	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	38,40	45,18	15,76	0,20	66,67	33,33
Tanque de sedimentación	25,00	29,41	4,00	0,10	33,33	33,33
Salida	21,60	25,41		0,00	0,00	
Total	85,00	100,00		0,30	100,00	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.6.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para fluoruros

FLUORUROS %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	15,76	33,33	49,10
Tanque de sedimentación / Salida	4,00	33,33	37,33
Σc	19,76	66,67	86,43

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.6.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para fluoruros

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	11,23	15,76	1,83	Rechazo H_0
E_2	37,87	4,00	30,29	
E_3	8,54	33,33	72,02	
E_4	28,80	33,33	0,71	
X^2			104,86	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

FÓSFORO TOTAL

Tabla B.7. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para fósforo total

Etapas	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	34,00	37,61	4,65	17,80	47,09	6,88
Tanque de sedimentación	29,80	32,96	3,54	15,20	40,21	27,51
Salida	26,60	29,42		4,80	12,70	
Total	90,40	100		37,80	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013

Tabla B.7.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para fósforo total

FÓSFORO TOTAL %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	4,65	6,88	11,52
Tanque de sedimentación / Salida	3,54	27,51	31,05
Σc	8,19	34,39	42,58

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.7.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para fósforo total

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	2,22	4,65	2,67	Rechazo H_0
E_2	9,31	3,54	3,58	
E_3	5,97	6,88	0,14	
E_4	25,08	27,51	0,24	
X^2			6,61	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

HIERRO TOTAL

Tabla B.8. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para hierro total

Etapa	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	0,40	10,53	-42,11	0,40	50,00	25,00
Tanque de sedimentación	2,00	52,63	15,79	0,20	25,00	0,00
Salida	1,40	36,84		0,20	25,00	
Total	3,80	100		0,80	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.8.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para hierro total

HIERRO TOTAL %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	42,11	25,00	67,11
Tanque de sedimentación / Salida	15,79	0,00	15,79
Σc	57,89	25,00	82,89

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.8.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para hierro total

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	46,87	42,11	0,48	Rechazo H_0
E_2	20,24	15,79	0,98	
E_3	11,03	25,00	17,70	
E_4	4,76	0,00	4,76	
X^2			23,93	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

NITRITOS

Tabla B.9. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para nitritos

Etap	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	0,30	29,41	-7,84	0,24	40,00	10,00
Tanque de sedimentación	0,38	37,25	3,92	0,18	30,00	0,00
Salida	0,34	33,33		0,18	30,00	
Total	1,02	100		0,60	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.9.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para nitritos

NITRITOS %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	7,84	10,00	17,84
Tanque de sedimentación / Salida	3,92	0,00	3,92
Σc	11,76	10,00	21,76

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.9.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para nitritos

Frecuencias	E_i	O_i	X^2	Hipótesis
E_1	9,64	7,84	0,34	Rechazo H_0
E_2	8,20	3,92	2,23	
E_3	2,12	10,00	29,29	
E_4	1,80	0,00	1,80	
X^2			33,66	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

NITRATOS

Tabla B.10. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para nitratos

Etapa	Sin tratamiento (O_i)	%	Δ	Con tratamiento (O_i)	%	Δ
Entrada	36,00	33,33	-9,26	16,00	25,81	-12,90
Tanque de sedimentación	46,00	42,59	18,52	24,00	38,71	3,23
Salida	26,00	24,07		22,00	35,48	
Total	108,00	100		62,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.10.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para nitratos

NITRATOS %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	9,26	12,90	22,16
Tanque de sedimentación / Salida	18,52	3,23	21,74
Σc	27,78	16,13	43,91

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.10.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para nitratos

Frecuencias	Ei	Oi	X^2	Hipótesis
<i>E1</i>	14,02	9,26	1,62	Rechazo Ho
<i>E2</i>	8,14	18,52	13,23	
<i>E3</i>	13,76	12,90	0,05	
<i>E4</i>	7,99	3,23	2,84	
X^2			17,74	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Tabla B.11. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para pH

Etapa	Sin tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ
Entrada	9,00	36,73	4,08	8,00	34,78	2,17
Tanque de sedimentación	8,00	32,65	2,04	7,50	32,61	0,00
Salida	7,50	30,61		7,50	32,61	
Total	24,50	100,00		23,00	100,00	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.11.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para pH

pH %			
	Sin tratamiento Oi	Con tratamiento Oi	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	4,08	2,17	6,26
Tanque de sedimentación / Salida	2,04	0,00	2,04
Σc	6,12	2,17	8,30

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.11.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para pH

Frecuencias	Ei	Oi	X^2	Hipótesis
<i>E1</i>	4,62	4,08	0,06	Acepto Ho
<i>E2</i>	1,64	2,04	0,10	
<i>E3</i>	1,51	2,17	0,30	
<i>E4</i>	0,53	0,00	0,53	
X^2			0,99	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Tabla B.12. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sólidos sedimentables

Etapa	Sin tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ
Entrada	4,00	78,43	58,82	3,00	93,75	87,50
Tanque de sedimentación	1,00	19,61	17,65	0,20	6,25	6,25
Salida	0,10	1,96		0,00	0,00	
Total	5,10	100		3,20	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.12.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para sólidos sedimentables

SÓLIDOS SEDIMENTABLES %			
	Sin tratamiento Oi	Con tratamiento Oi	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	58,82	87,50	146,32
Tanque de sedimentación / Salida	17,65	6,25	23,90
Σc	76,47	93,75	170,22

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.12.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes para sólidos sedimentables

Frecuencias	Ei	Oi	X^2	Hipótesis
<i>E1</i>	65,73	58,82	0,73	Rechazo Ho
<i>E2</i>	80,59	17,65	49,16	
<i>E3</i>	10,74	87,50	548,90	
<i>E4</i>	13,16	6,25	3,63	
X^2			602,41	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

SÓLIDOS TOTALES

Tabla B.13. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sólidos totales

Etapa	Sin tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ
Entrada	302,00	50,33	20,33	249,00	55,09	21,24
Tanque de sedimentación	180,00	30,00	10,33	153,00	33,85	22,79
Salida	118,00	19,67		50,00	11,06	
Total	600,00	100		452,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.13.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para sólidos totales

SÓLIDOS TOTALES %			
	Sin tratamiento Oi	Con tratamiento Oi	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	20,33	21,24	41,57
Tanque de sedimentación / Salida	10,33	22,79	33,12
Σc	30,67	44,03	74,69

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.13.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado χ^2 en porcentajes para sólidos totales

Frecuencias	E_i	O_i	χ^2	Hipótesis
E_1	17,07	20,33	0,62	Rechazo H_0
E_2	24,50	10,33	8,19	
E_3	13,60	21,24	4,29	
E_4	19,52	22,79	0,55	
χ^2			13,66	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Tabla B.14. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sólidos suspendidos totales

Etapa	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	375,00	35,01	1,49	564,00	38,55	3,28
Tanque de sedimentación	359,00	33,52	2,05	516,00	35,27	9,09
Salida	337,00	31,47		383,00	26,18	
Total	1071,00	100		1463,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.14.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado χ^2 sólidos suspendidos totales

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	1,49	3,28	4,77
Tanque de sedimentación / Salida	2,05	9,09	11,15
Σc	3,55	12,37	15,92

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.14.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado X^2 en porcentajes sólidos suspendidos totales

Frecuencias	Ei	Oi	X^2	Hipótesis
<i>E1</i>	1,06	1,49	0,17	Acepto Ho
<i>E2</i>	3,71	2,05	0,74	
<i>E3</i>	2,48	3,28	0,26	
<i>E4</i>	8,66	9,09	0,02	
X^2			1,19	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

SULFATOS

Tabla B.15. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para sulfatos

Etapa	Sin tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (Oi) mg/L	%	Δ
Entrada	220,00	44,00	16,00	480,00	47,06	17,65
Tanque de sedimentación	140,00	28,00	0,00	300,00	29,41	5,88
Salida	140,00	28,00		240,00	23,53	
Total	500,00	100		1020,00	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.15.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado X^2 para sulfatos

SULFATOS %			
	Sin tratamiento Oi	Con tratamiento Oi	Σf
Entrada / Tanque de sedimentación	16,00	17,65	33,65
Tanque de sedimentación / Salida	0,00	5,88	5,88
Σc	16,00	23,53	39,53

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.15.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado χ^2 en porcentajes para sulfatos

Frecuencias	E_i	O_i	χ^2	Hipótesis
E_1	13,62	16,00	0,42	Rechazo H_0
E_2	20,03	0,00	20,03	
E_3	2,38	17,65	97,88	
E_4	3,50	5,88	1,62	
χ^2			119,95	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

TENSOACTIVOS Ó DETERGENTES

Tabla B.16. Cálculo de porcentajes de los datos obtenidos para tensoactivos o detergentes

Etapa	Sin tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ	Con tratamiento (O_i) mg/L	%	Δ
Entrada	1,70	11,26	-33,51	8,20	36,80	-6,46
Tanque de sedimentación	6,76	44,77	0,79	9,64	43,27	23,34
Salida	6,64	43,97		4,44	19,93	
Total	15,10	100		22,28	100	

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.16.1. Cuadro de datos para prueba no paramétrica de Ji cuadrado χ^2 para tensoactivos o detergentes

TENSOACTIVOS %			
	Sin tratamiento O_i	Con tratamiento O_i	$\sum f$
Entrada / Tanque de sedimentación	33,51	6,46	39,97
Tanque de sedimentación / Salida	0,79	23,34	24,13
$\sum c$	34,30	29,80	64,11

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla B.16.2. Prueba estadística No Paramétrica Ji cuadrado χ^2 en porcentajes para tensoactivos o detergentes

Frecuencias	E_i	O_i	χ^2	Hipótesis
<i>E1</i>	21,39	33,51	6,87	Rechazo Ho
<i>E2</i>	18,58	0,79	17,03	
<i>E3</i>	12,91	6,46	3,22	
<i>E4</i>	11,22	23,34	13,09	
χ^2			40,21	

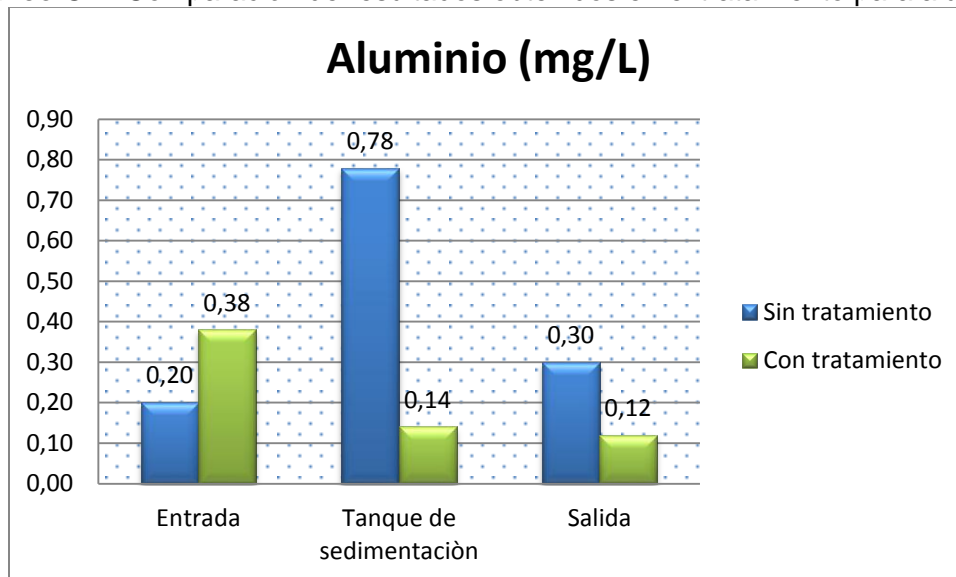
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Anexo C

Gráficos

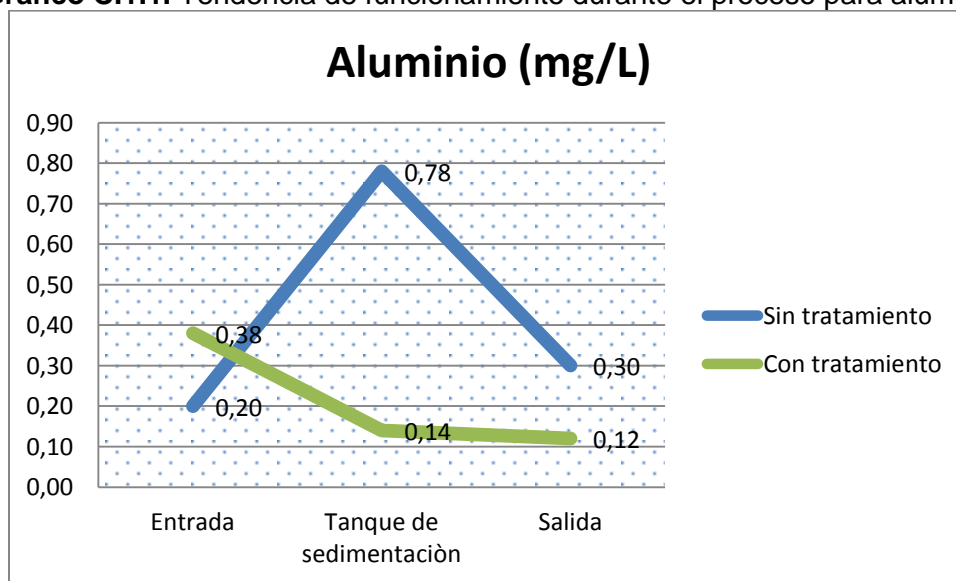
ALUMINIO

Gráfico C.1. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para aluminio



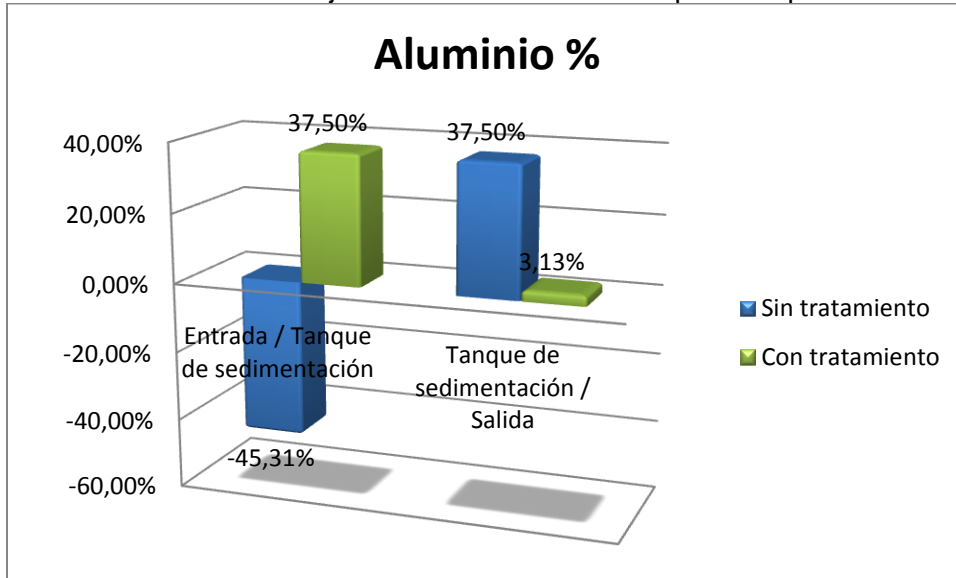
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.1.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para aluminio



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

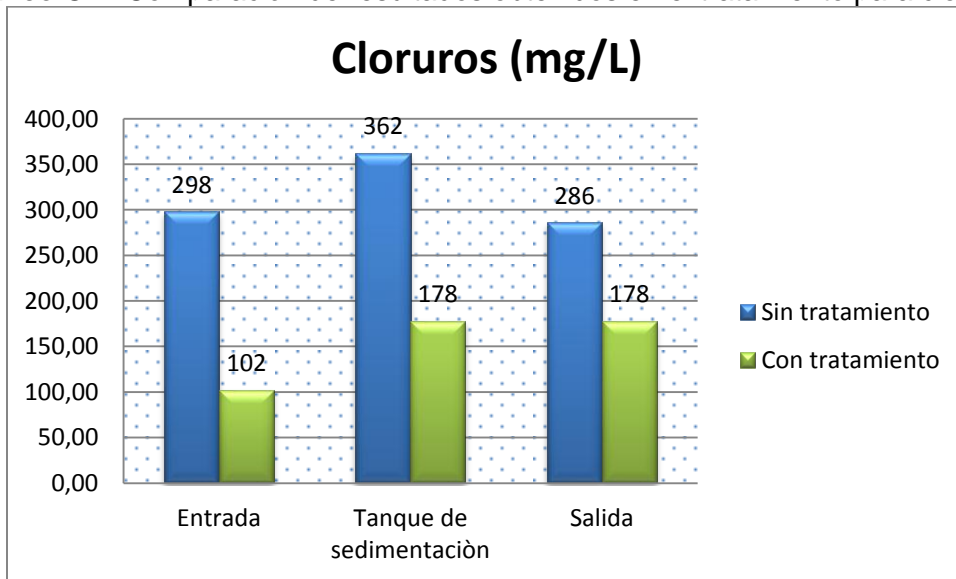
Gráfico C.1.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para aluminio



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

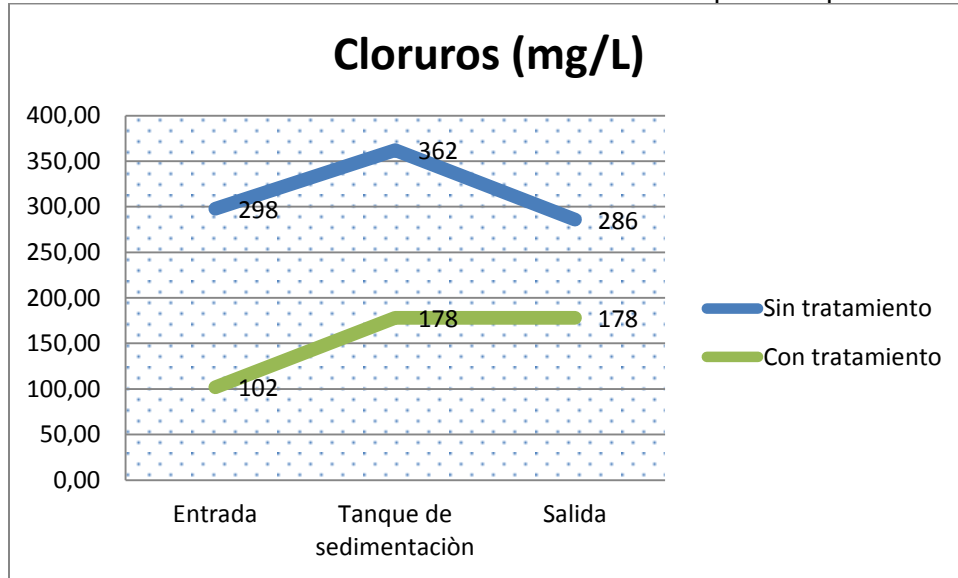
CLORUROS

Gráfico C.2. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para cloruros



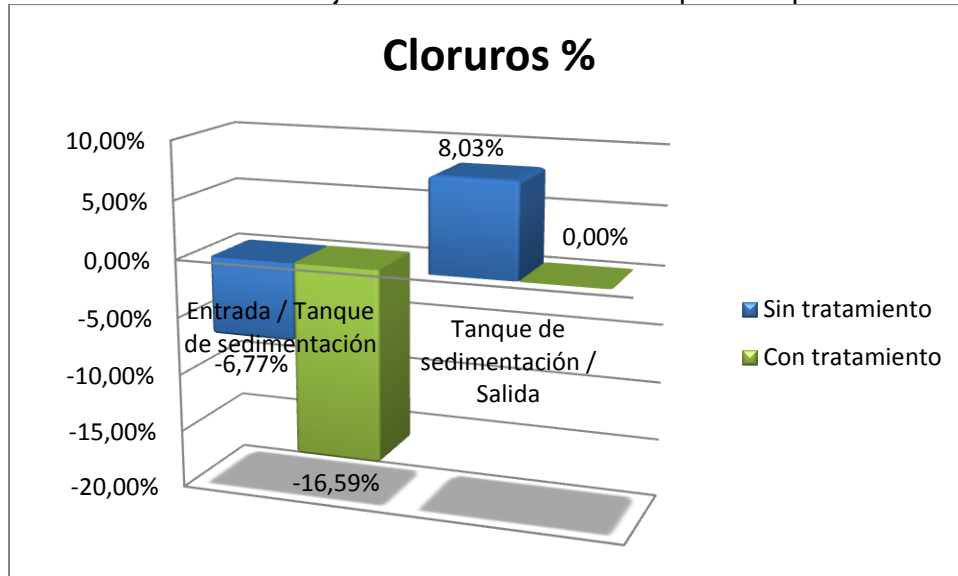
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.2.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para cloruros



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

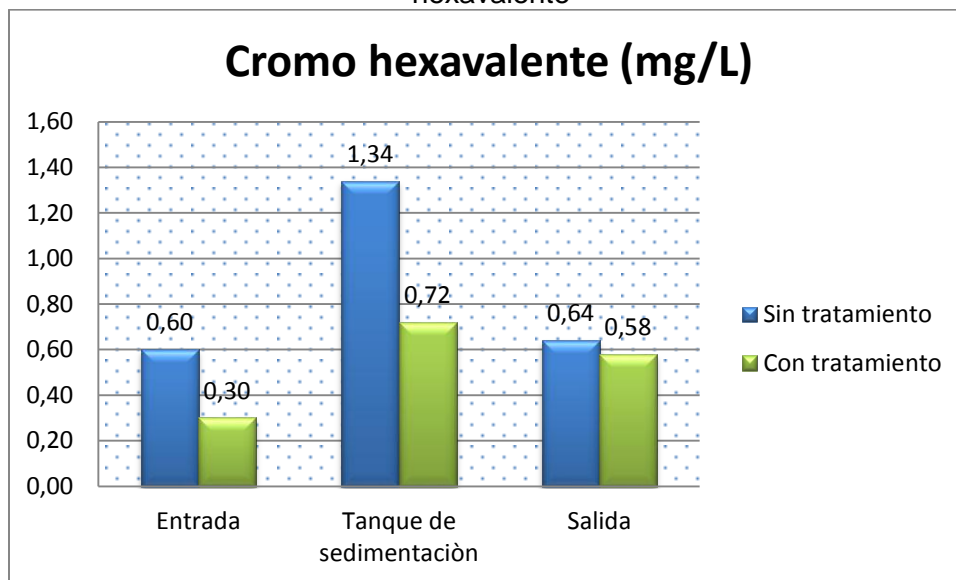
Gráfico C.2.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para cloruros



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

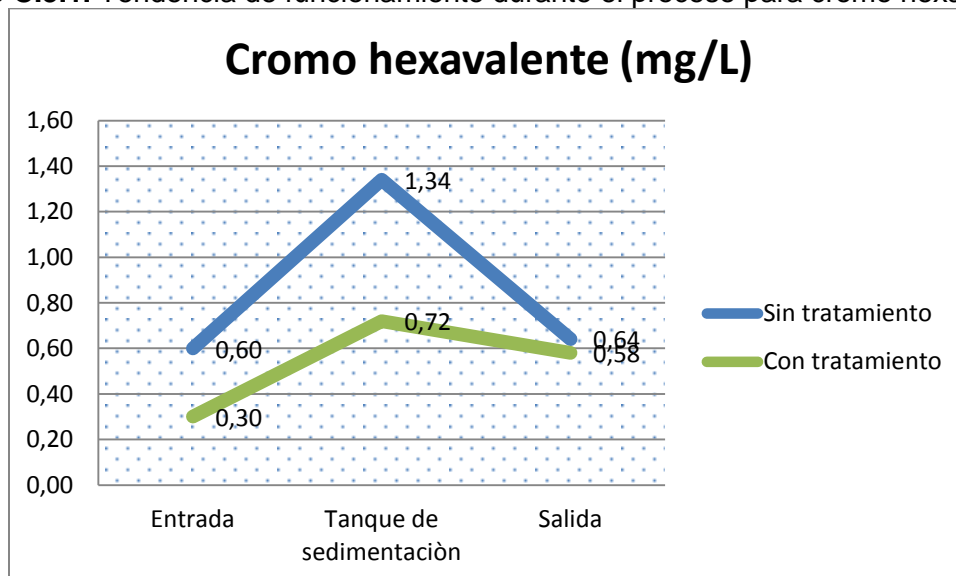
CROMO HEXAVALENTE

Gráfico C.3. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para cromo hexavalente



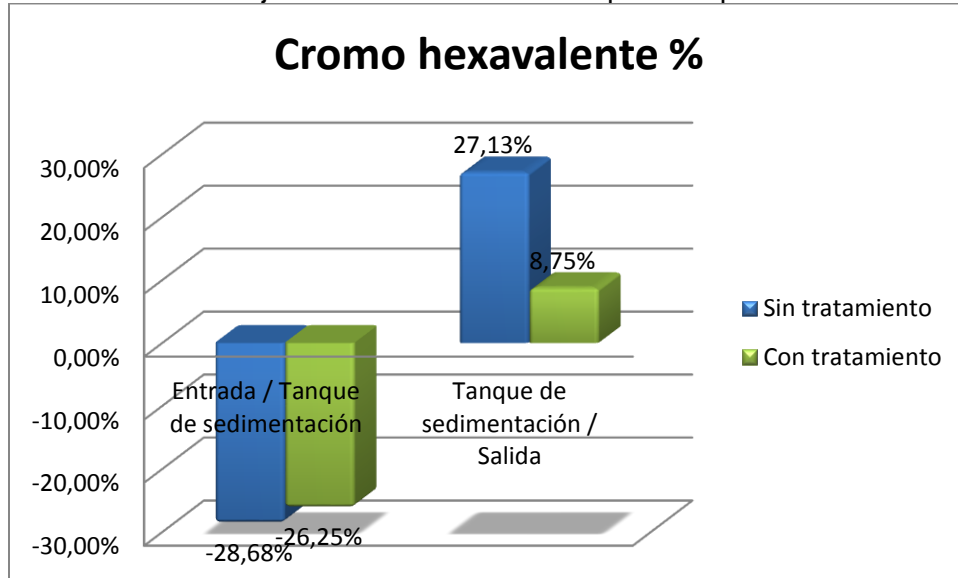
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.3.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para cromo hexavalente



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

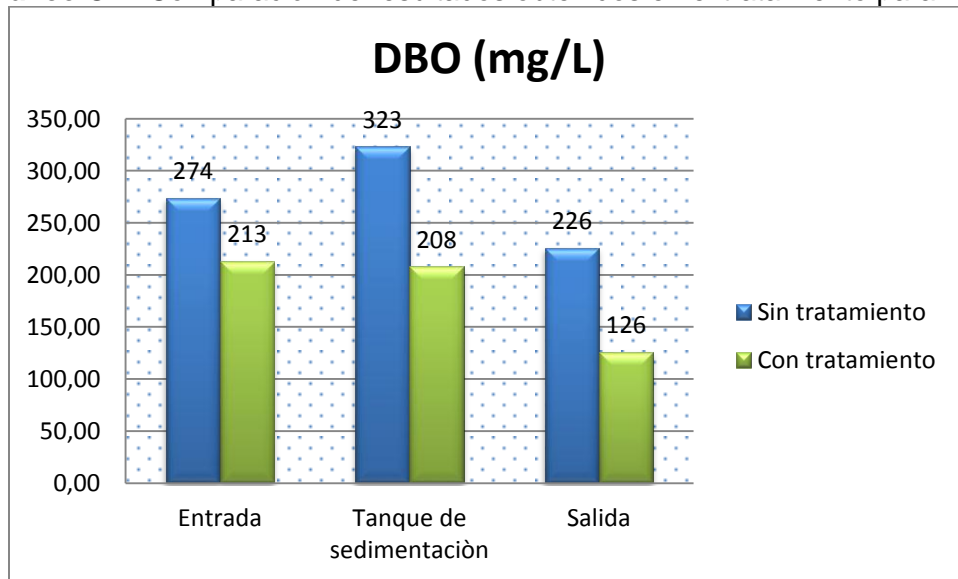
Gráfico C.3.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para cromo hexavalente



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

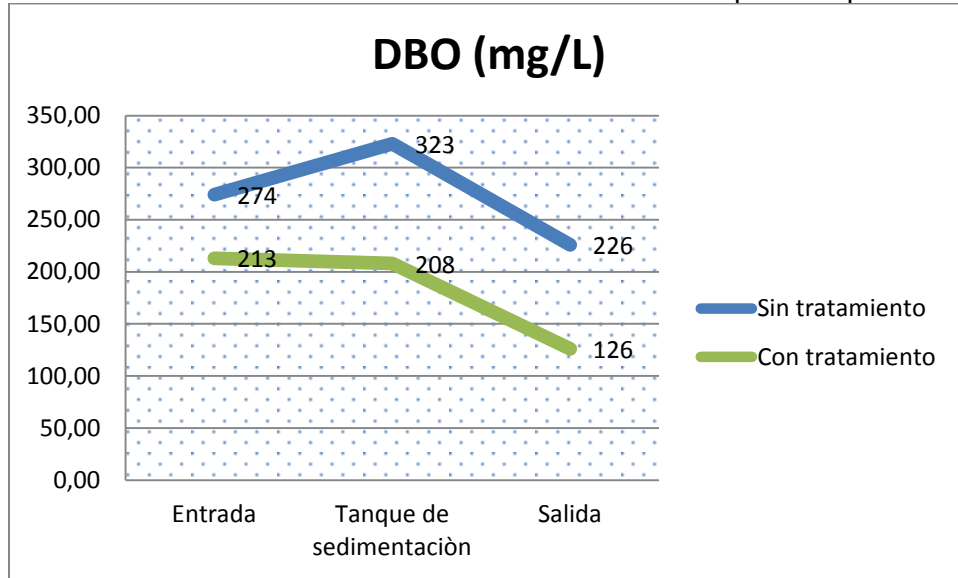
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Gráfico C.4. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para DBO



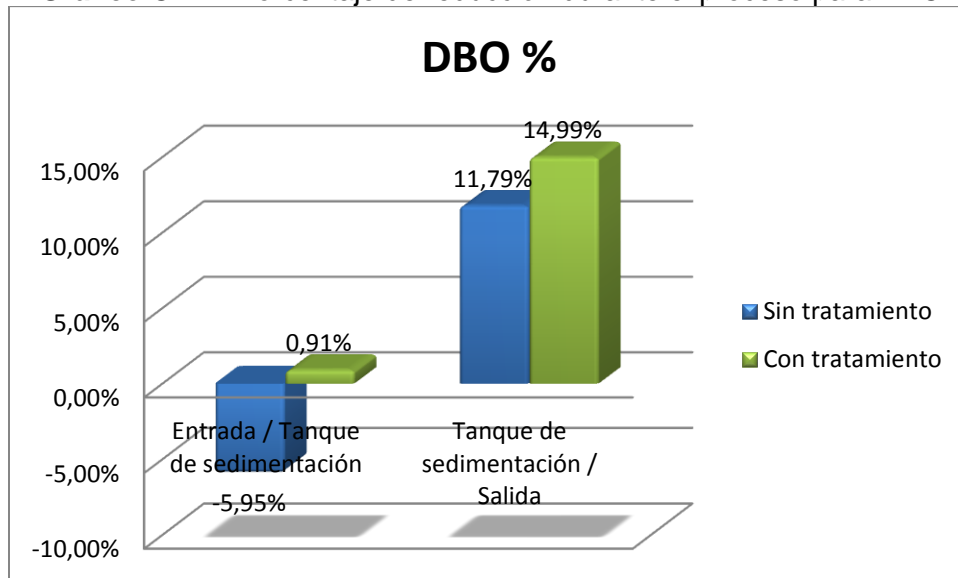
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.4.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para DBO



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

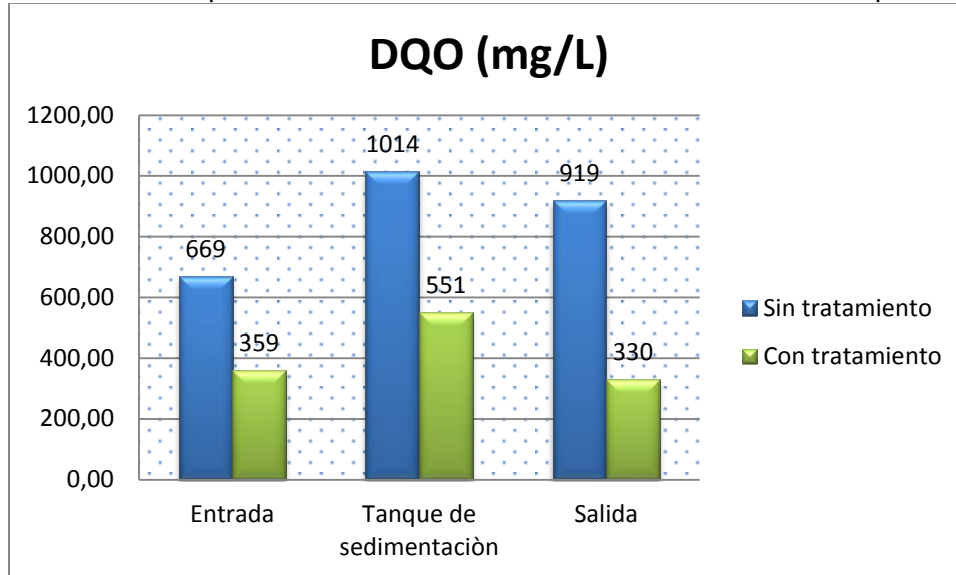
Gráfico C.4.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para DBO



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

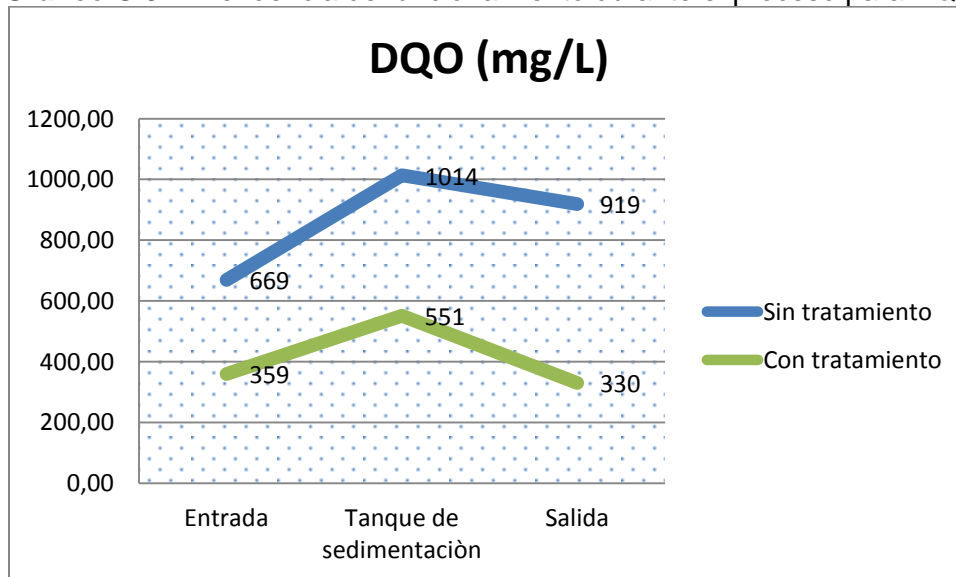
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Gráfico C.5. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para DQO



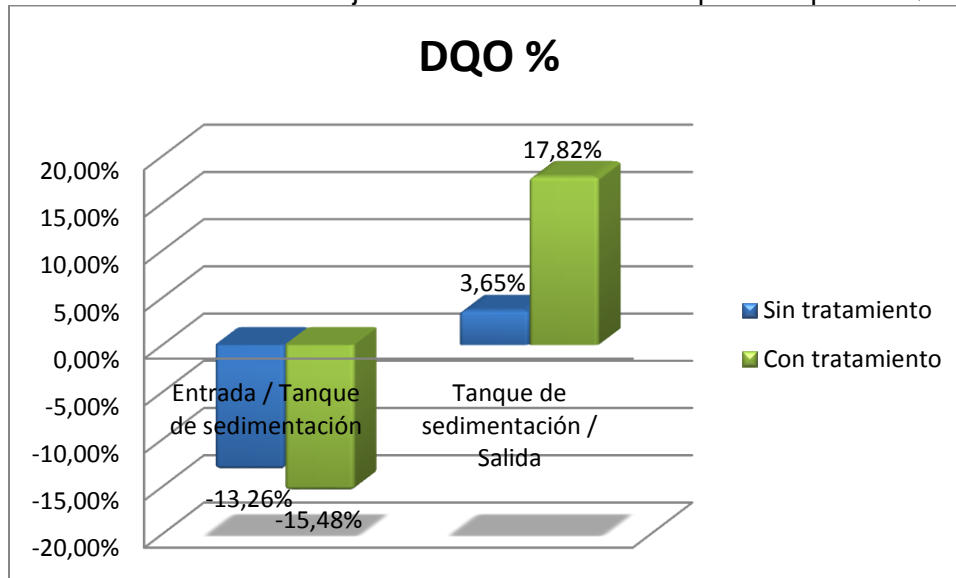
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.5.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para DQO



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

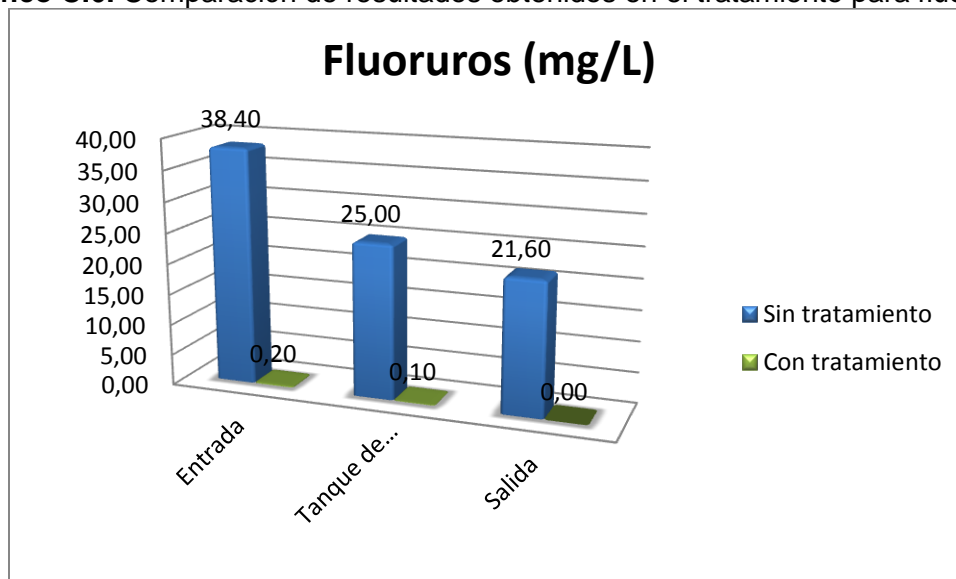
Gráfico C.5.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para DQO



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

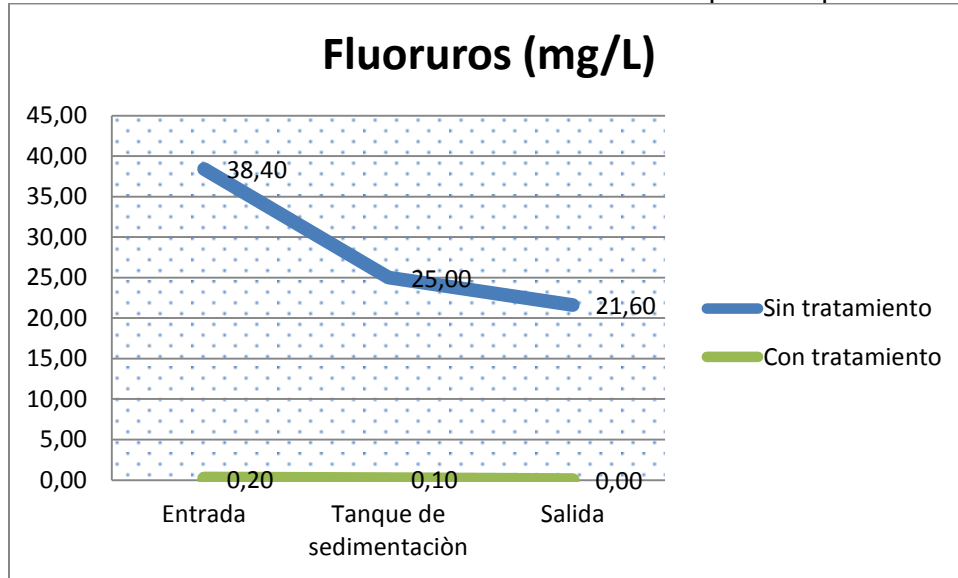
FLUORUROS

Gráfico C.6. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para fluoruros



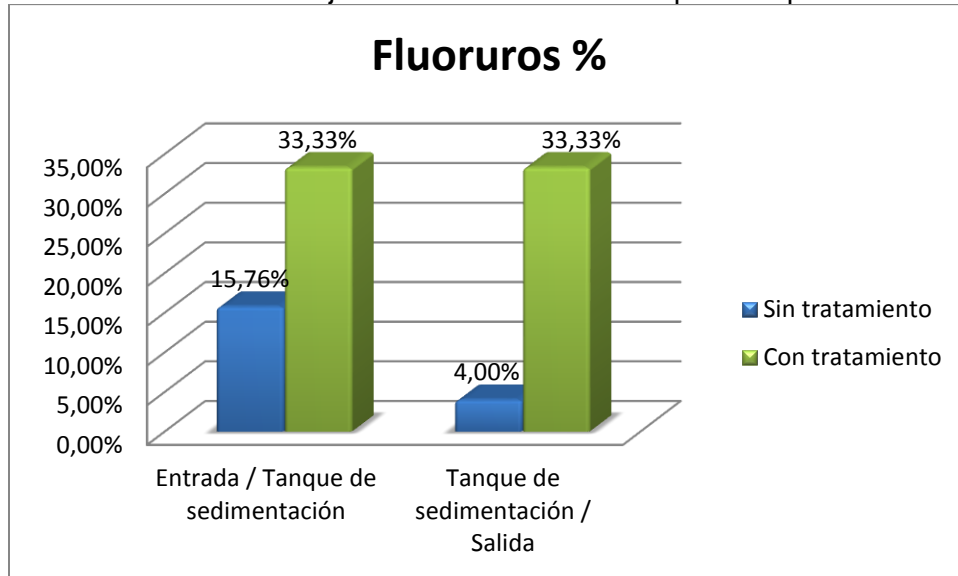
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.6.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para fluoruros



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

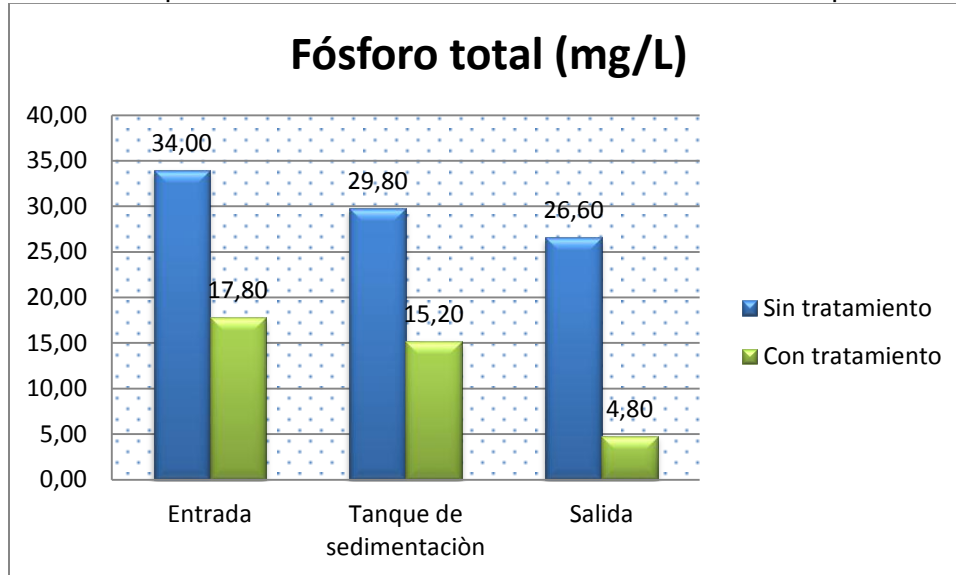
Gráfico C.6.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para fluoruros



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

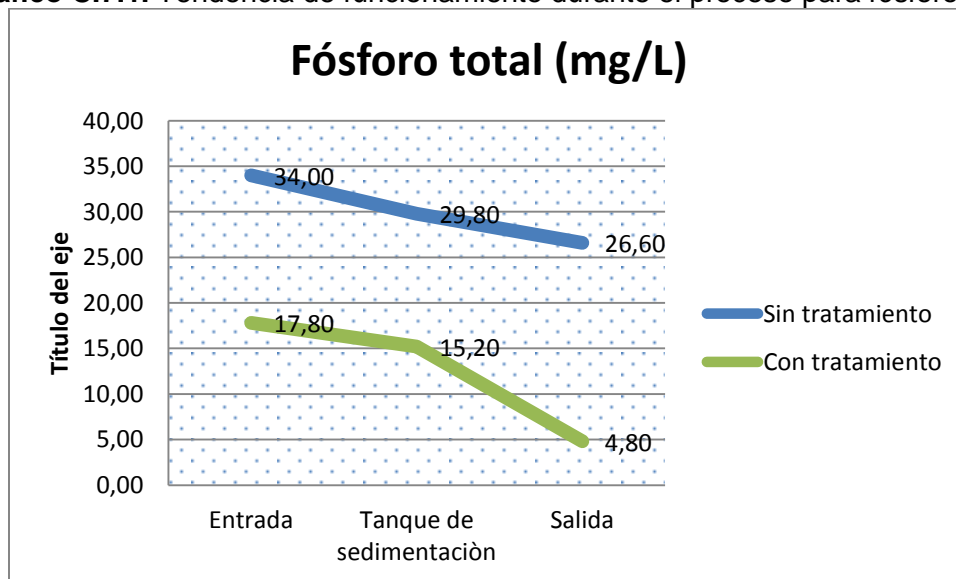
FÓSFORO TOTAL

Gráfico C.7. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para fósforo total



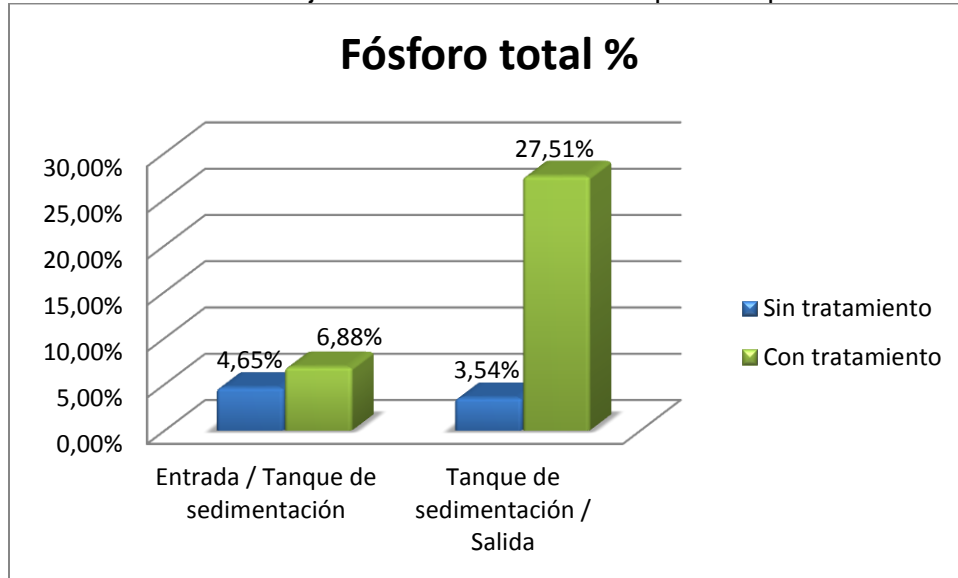
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.7.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para fósforo total



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

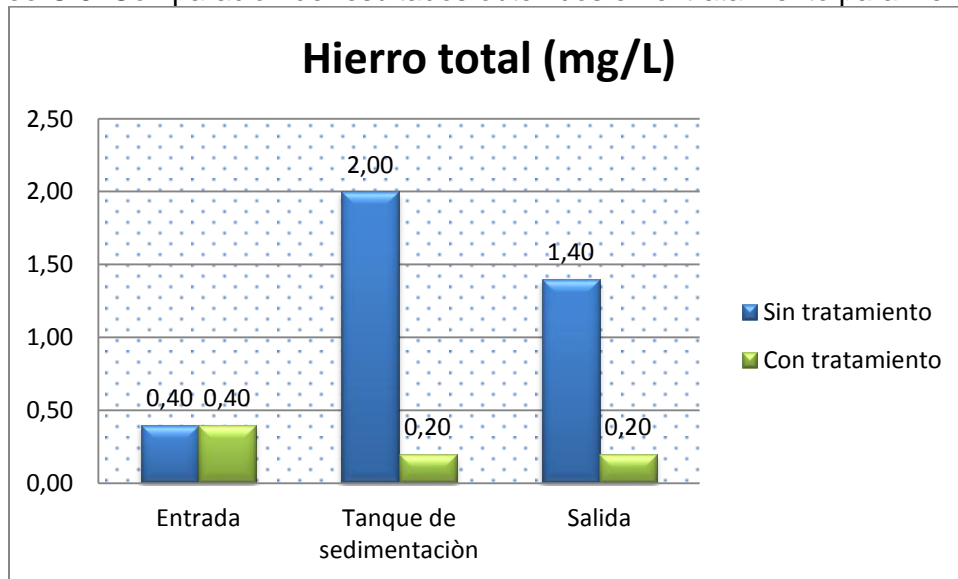
Gráfico C.7.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para fósforo total



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

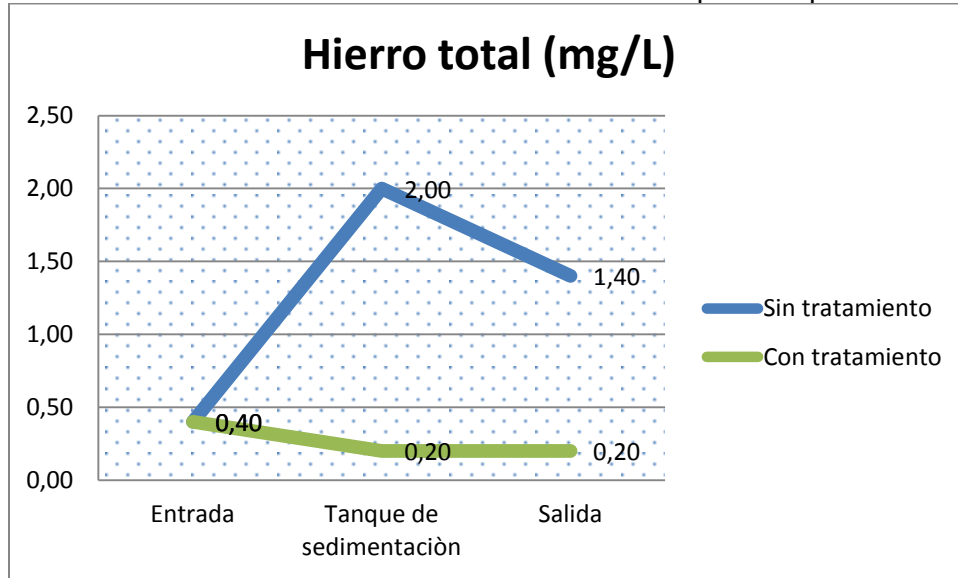
HIERRO TOTAL

Gráfico C.8. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para hierro total



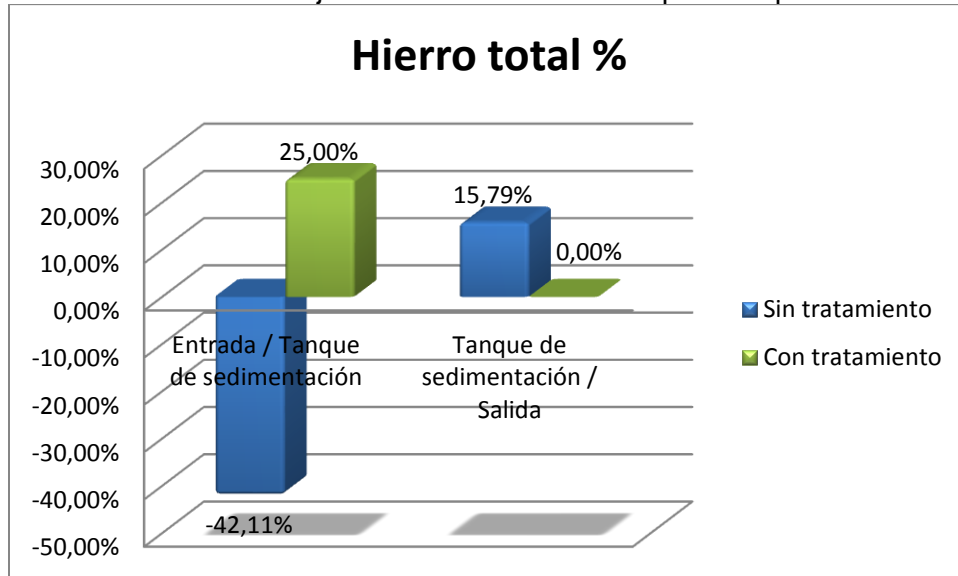
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.8.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para hierro total



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

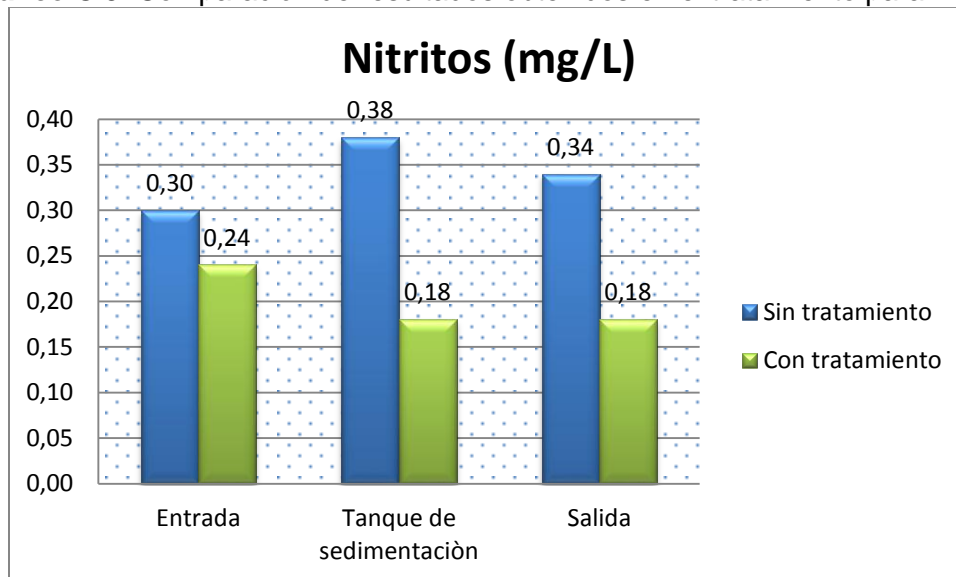
Gráfico C.8.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para hierro total



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

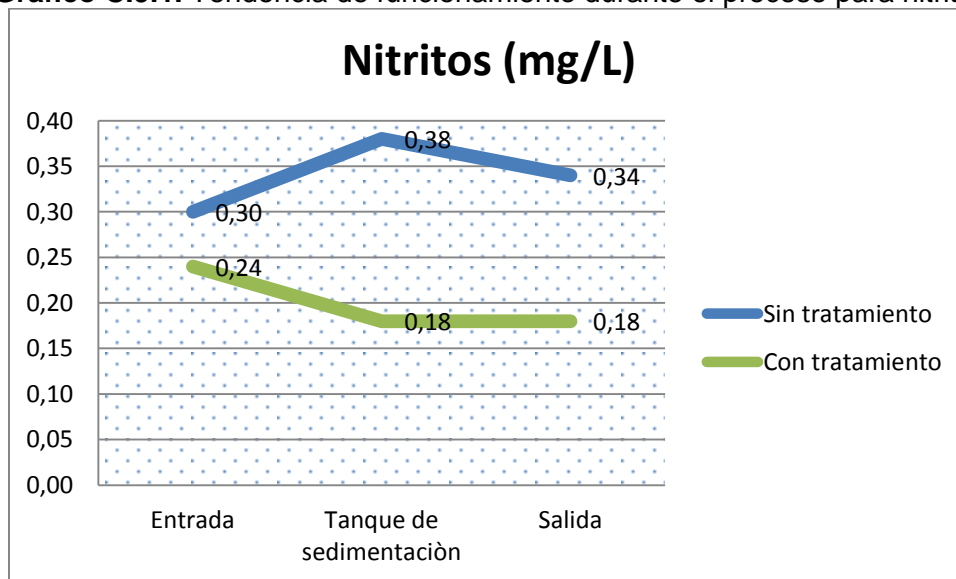
NITRITOS

Gráfico C.9. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para nitritos



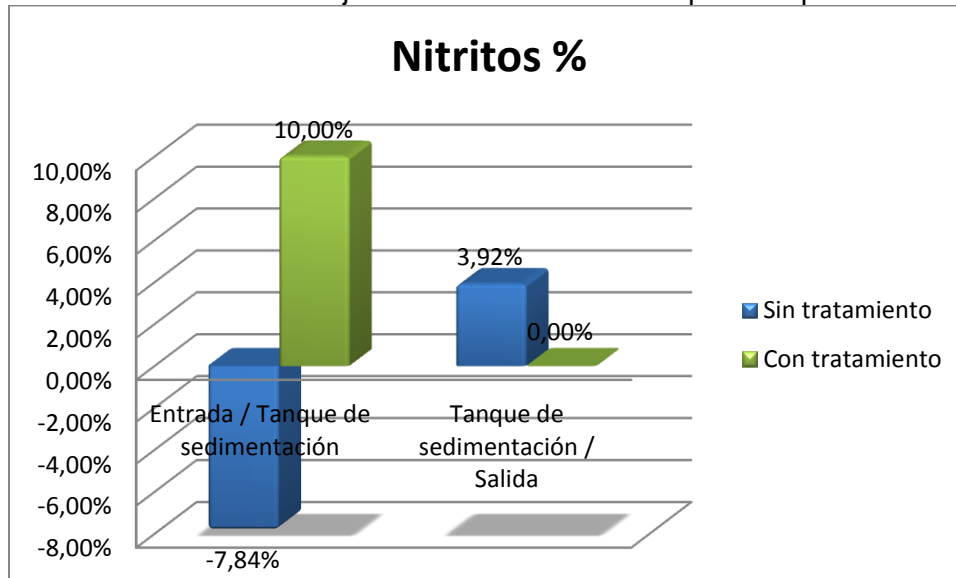
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.9.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para nitritos



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

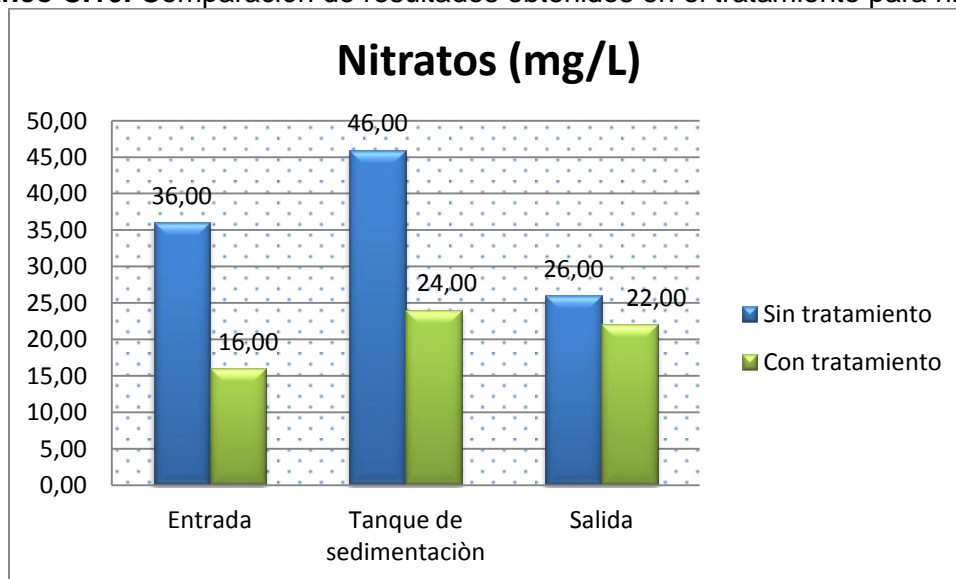
Gráfico C.9.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para nitritos



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

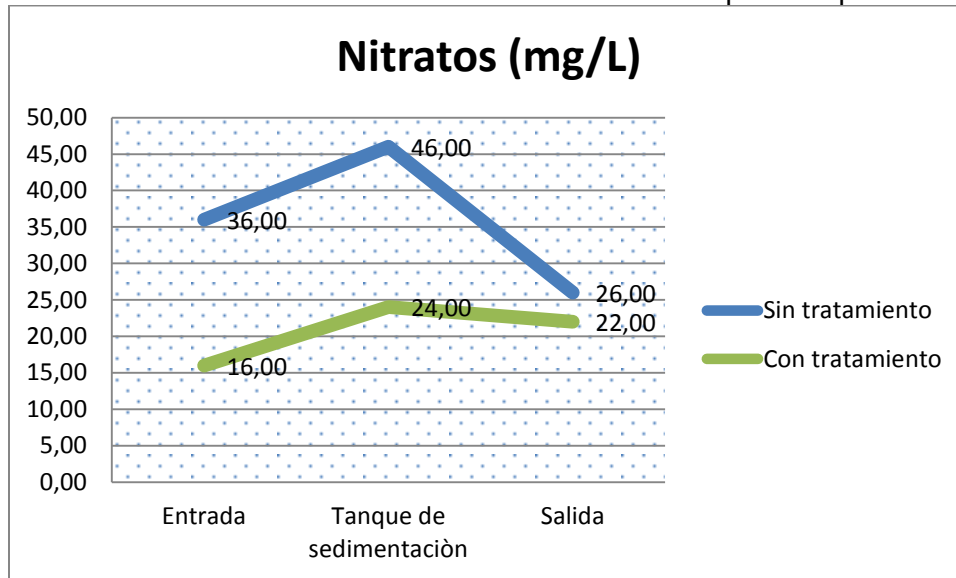
NITRATOS

Gráfico C.10. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para nitratos



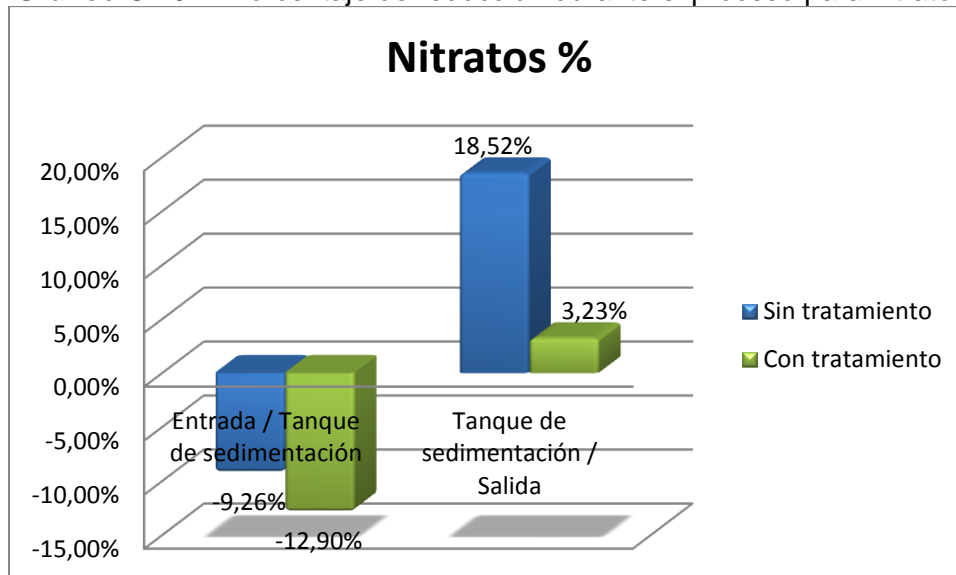
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.10.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para nitratos



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

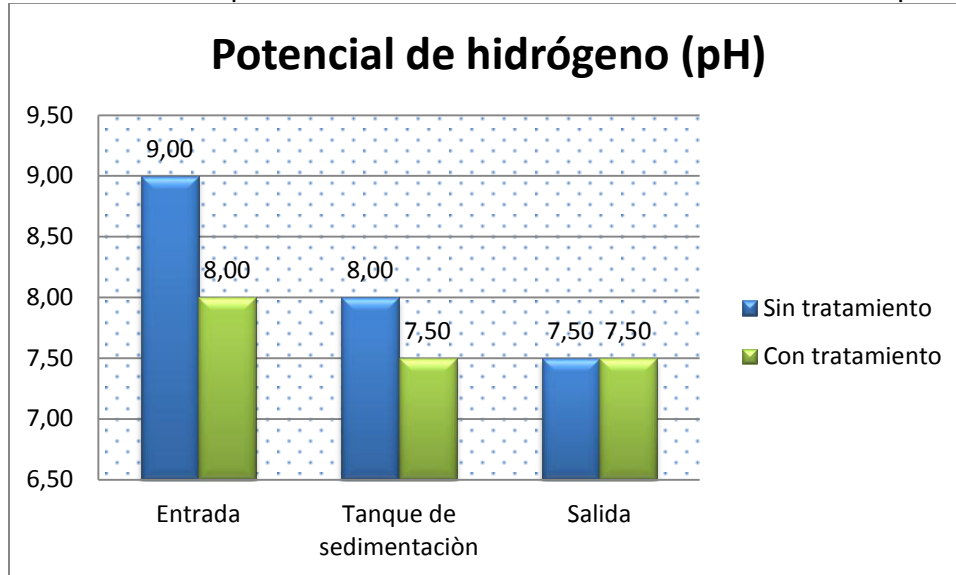
Gráfico C.10.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para nitratos



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

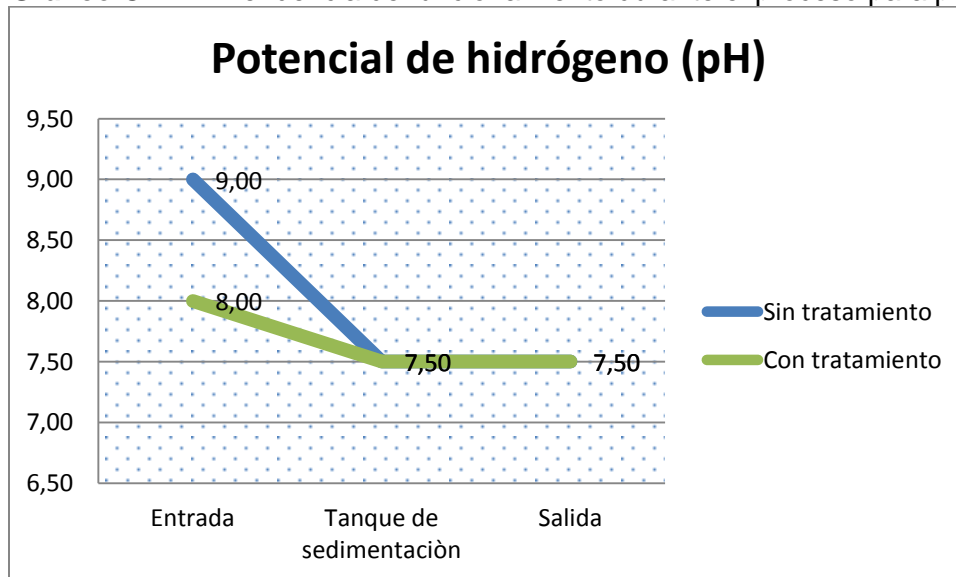
POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Gráfico C.11. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para pH



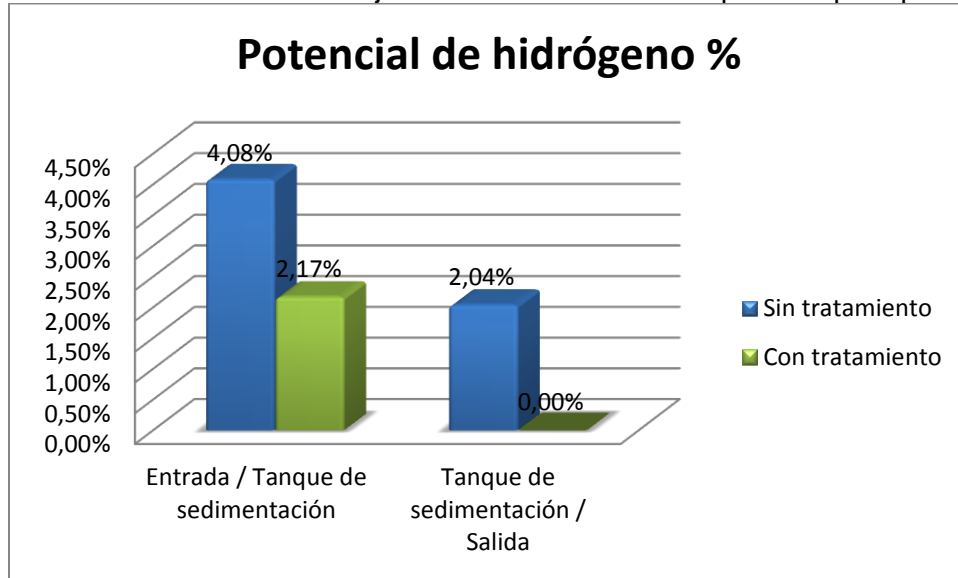
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.11.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para pH



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

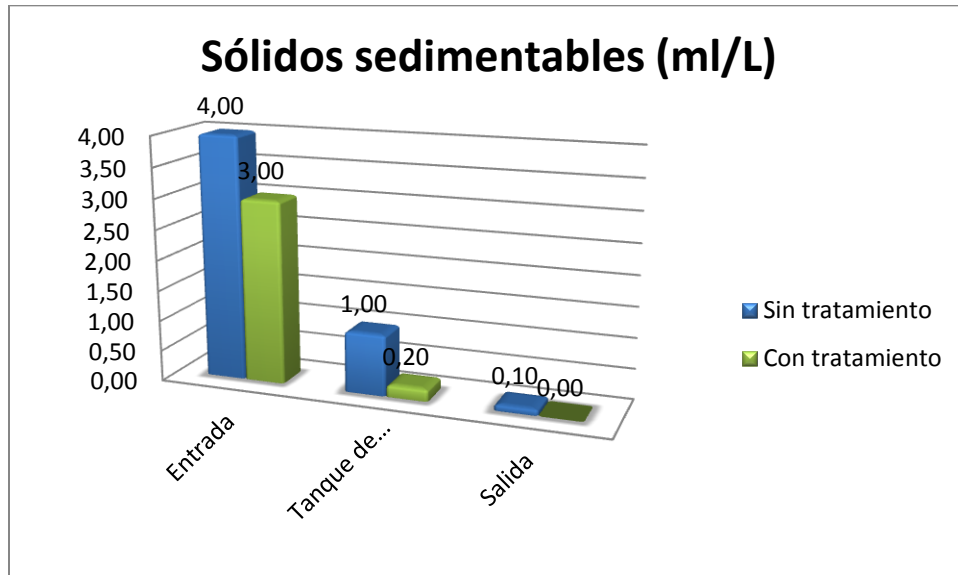
Gráfico C.11.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para pH



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

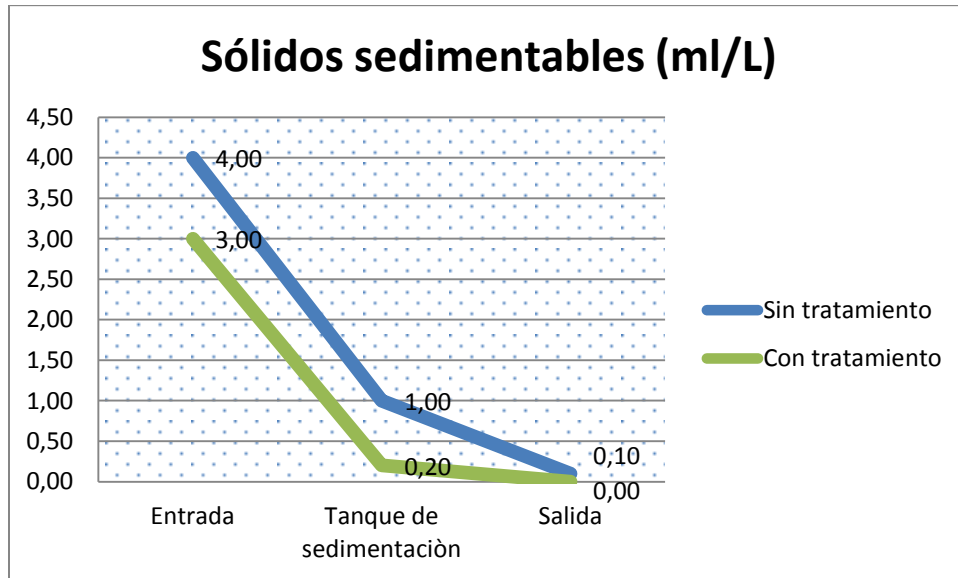
SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Gráfico C.12. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sólidos sedimentables



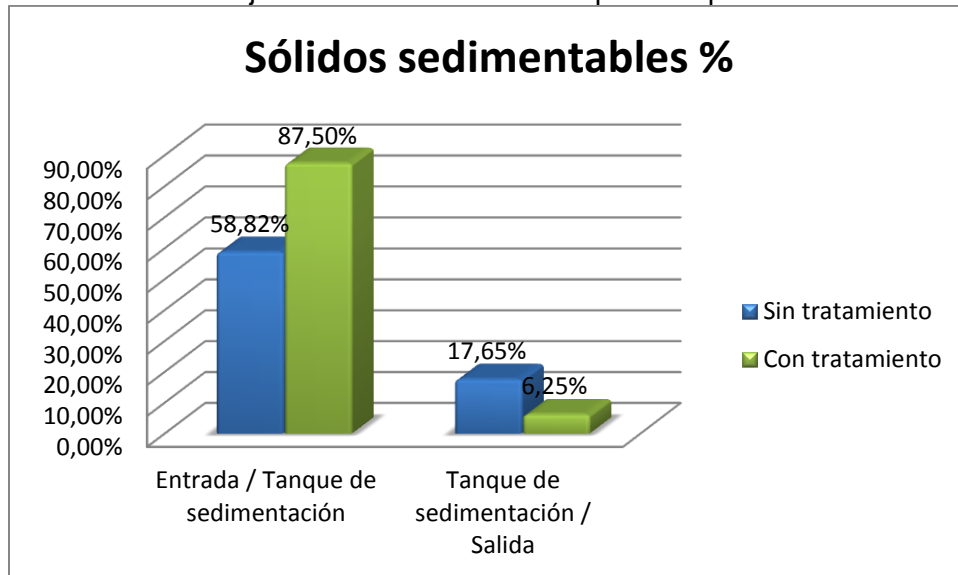
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.12.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos sedimentables



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

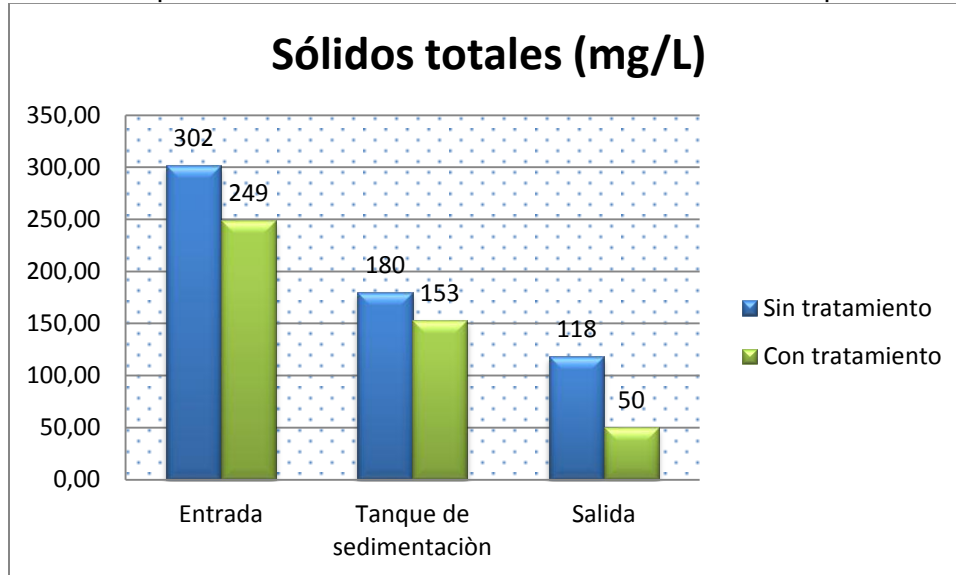
Gráfico C.12.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sólidos sedimentables



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

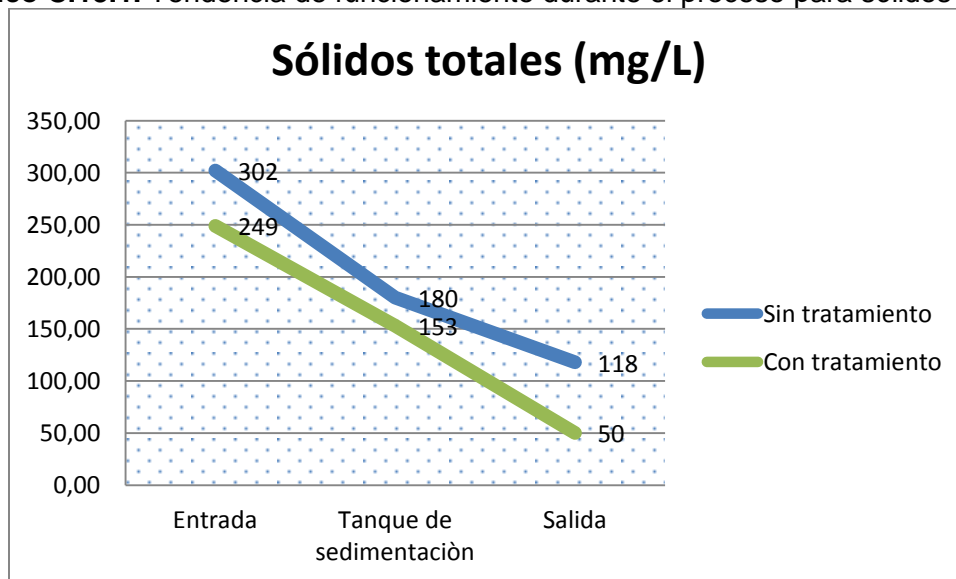
SÓLIDOS TOTALES

Gráfico C.13. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sólidos totales



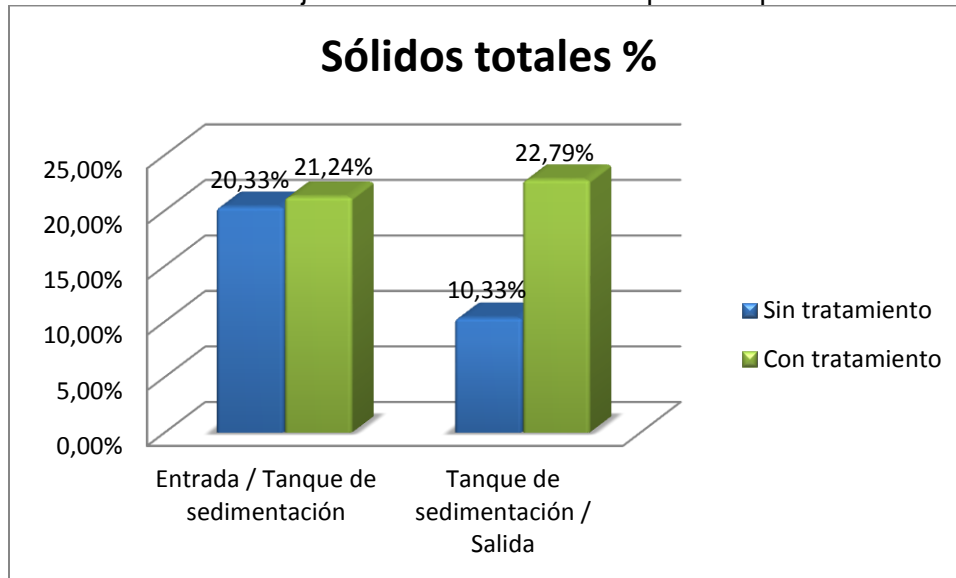
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.13.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos totales



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

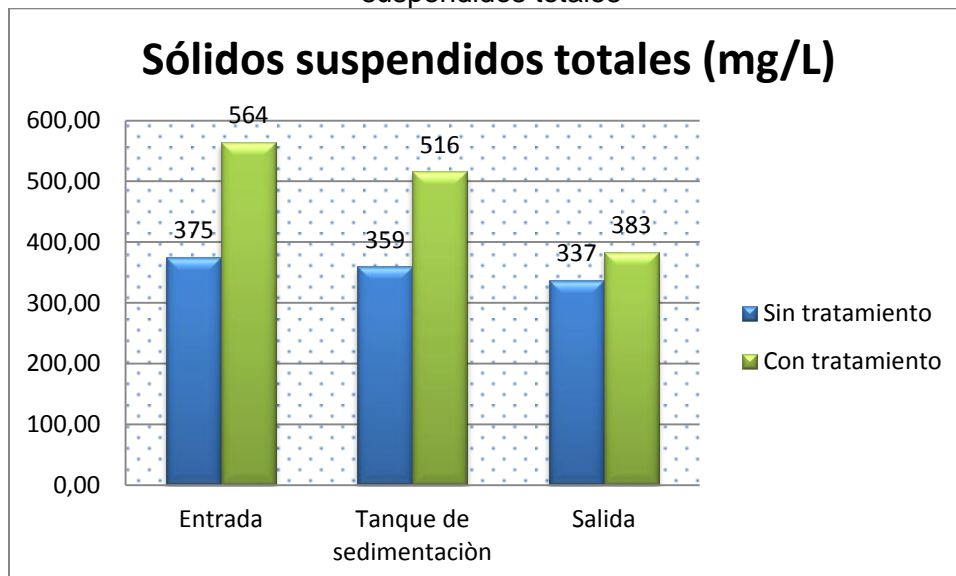
Gráfico C.13.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sólidos totales



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

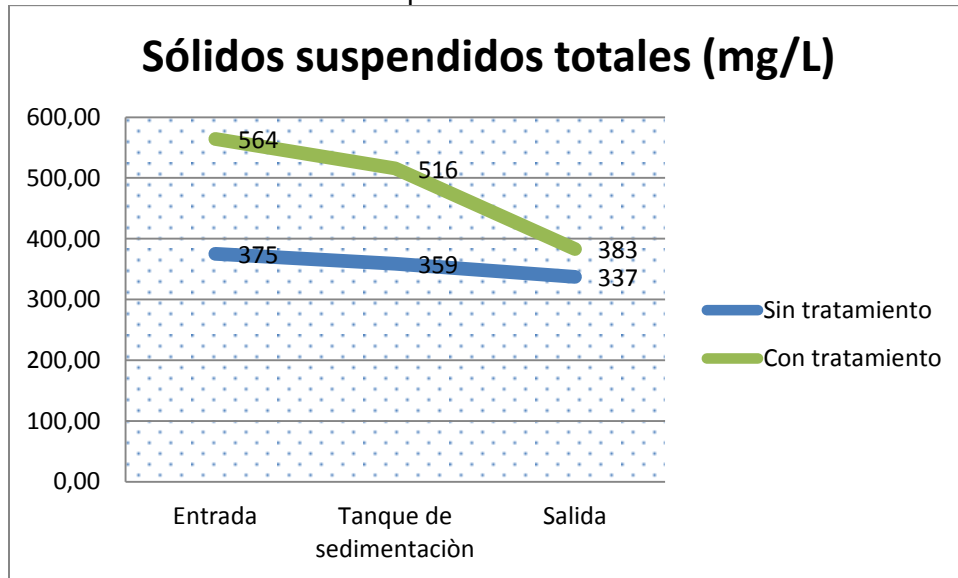
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Gráfico C.14. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sólidos suspendidos totales



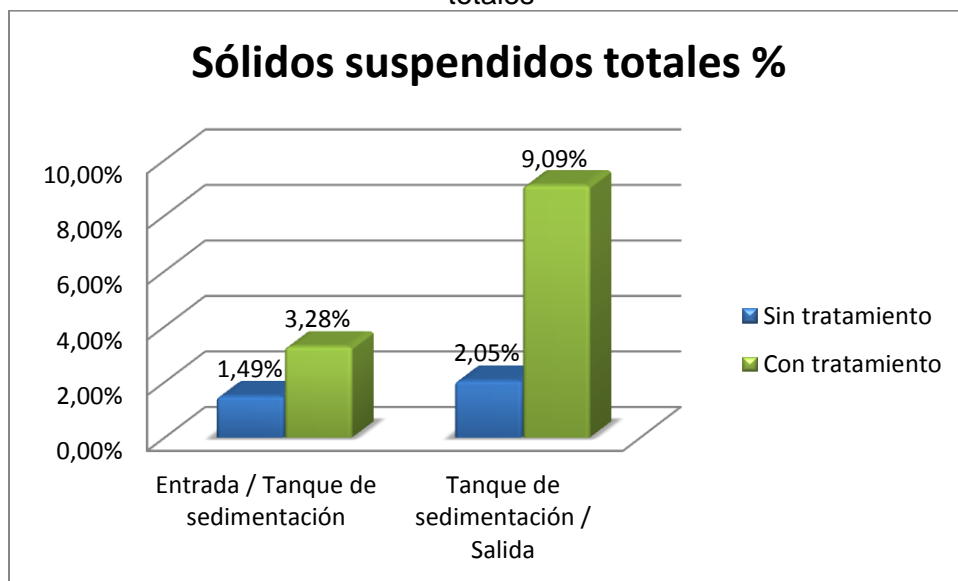
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.14.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sólidos suspendidos totales



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

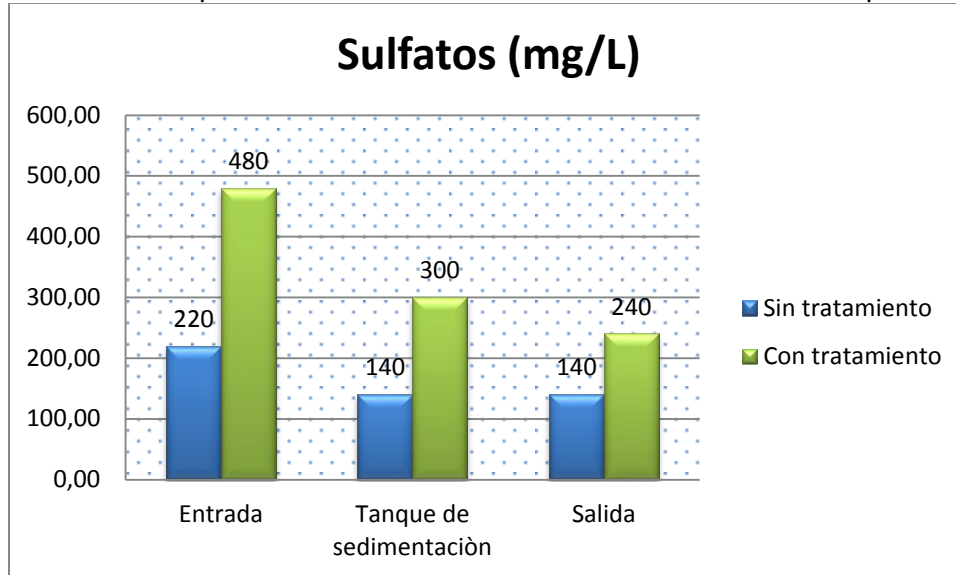
Gráfico C.14.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sólidos suspendidos totales



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

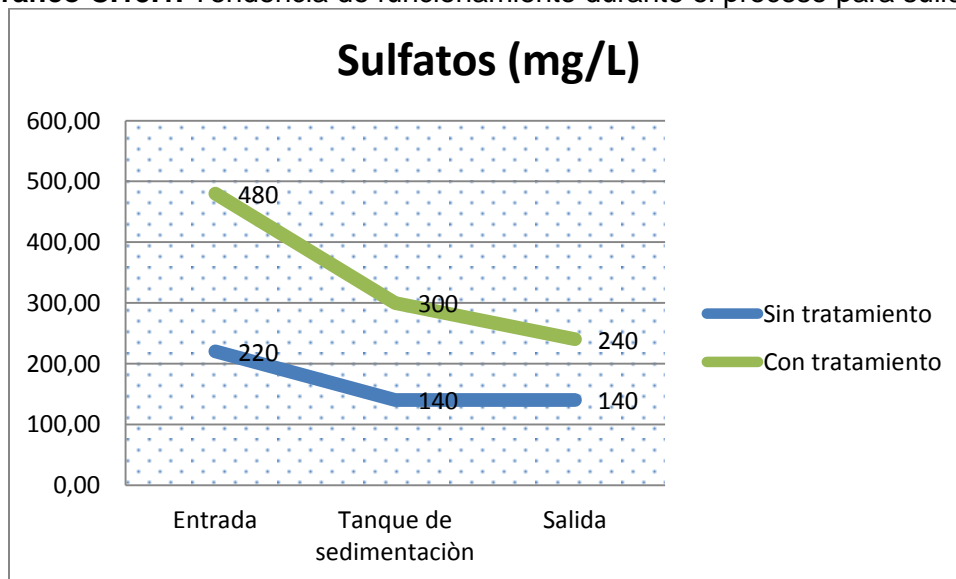
SULFATOS

Gráfico C.15. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para sulfatos



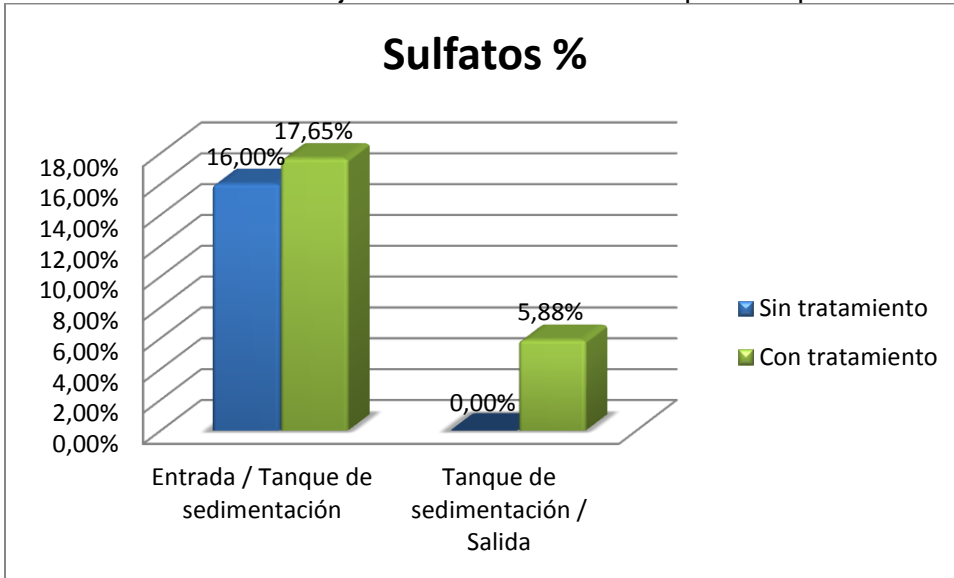
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.15.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para sulfatos



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

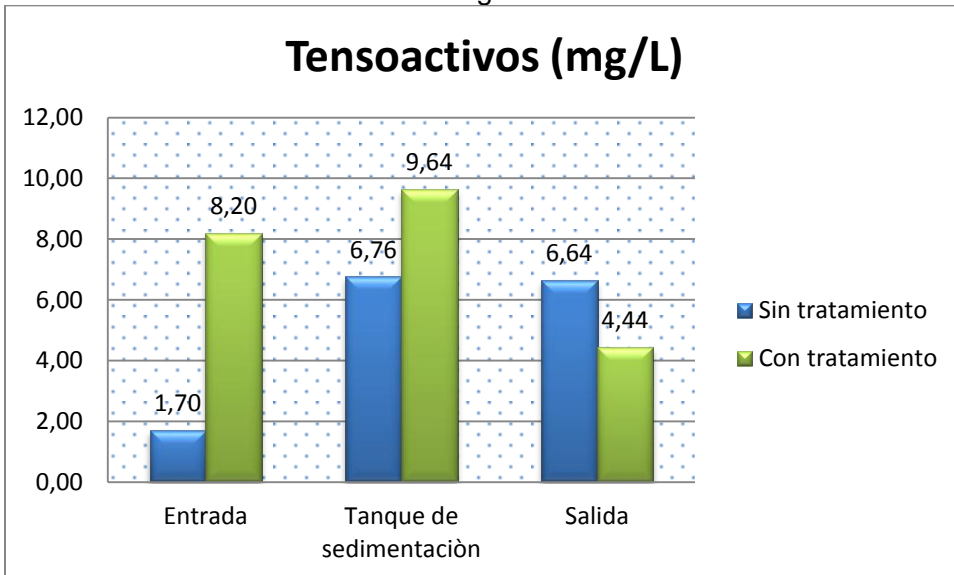
Gráfico C.15.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para sulfatos



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

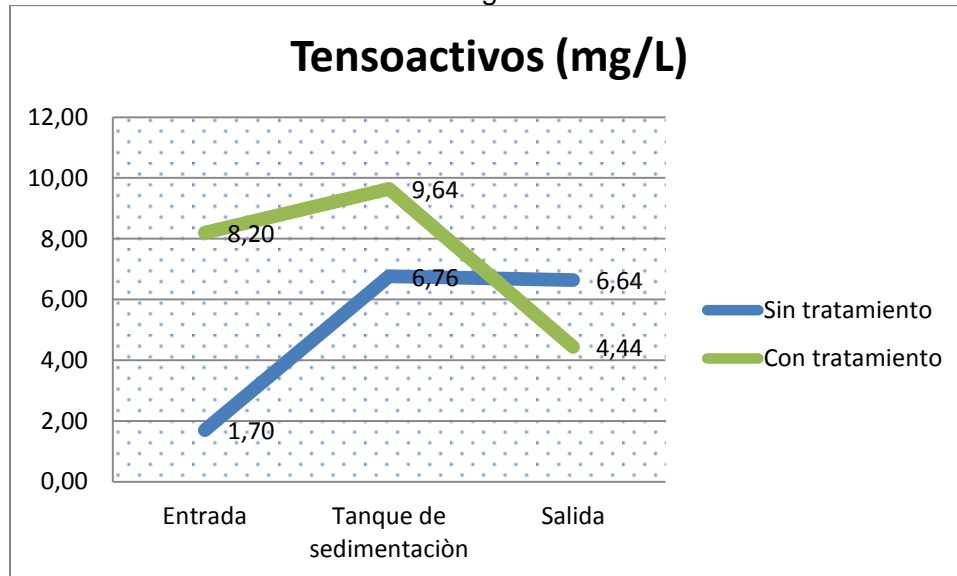
TENSOACTIVOS Ó DETERGENTES

Gráfico C.16. Comparación de resultados obtenidos en el tratamiento para tensoactivos o detergentes



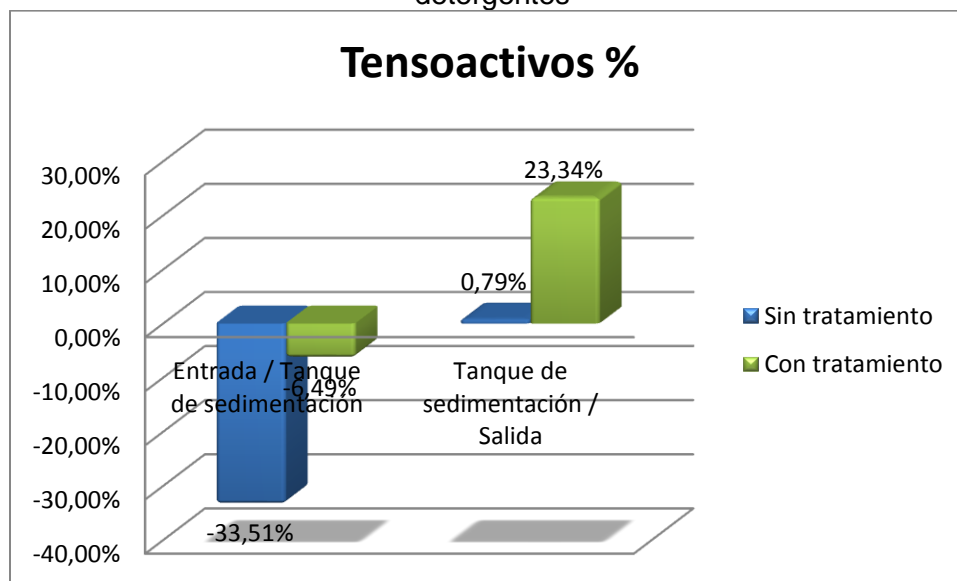
Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.16.1. Tendencia de funcionamiento durante el proceso para tensoactivos o detergentes



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Gráfico C.16.2. Porcentaje de reducción durante el proceso para tensoactivos o detergentes



Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Anexo D

Imágenes

Imagen D.1. Planta de tratamiento Puerto Arturo previo mantenimiento de infraestructura de cerramiento hacia la quebrada.



Imagen D.2. Caja de descarga de caudales de la planta de tratamiento Puerto Arturo previo mantenimiento.



Imagen D.3. Presencia de maleza y excedente de agua contaminada de la planta de tratamiento previa implementación



Imagen D.4. Eliminación de maleza y relleno de la quebrada Puerto Arturo



Imagen D.5. Vista general de la planta de tratamiento Puerto Arturo



Imagen D.6. Entrada de agua contaminada a la planta de tratamiento



Imagen D.7. Tanque sedimentador planta de tratamiento Puerto Arturo



Imagen D.8. Filtro de piedra ascendente planta de tratamiento Puerto Arturo



Imagen D.9. Filtro de piedra descendente previa modificación planta de tratamiento Puerto Arturo



Imagen D.10. Estanque de secado de lodos planta de tratamiento Puerto Arturo



Imagen D.11. Descarga de contenido del tanque sedimentador al estanque de secado de lodos



Imagen D.12. Lavado de piedras en los filtros planta de tratamiento Puerto Arturo



Imagen D.13. Construcción del tanque mixto con lechuguín, tubos PVC, arena de cuarzo y filtro de piedra descendente



Imagen D.14. Colocación de piedra, arena de cuarzo, tubos PVC (flautas para oxigenación) y lechuguín en el filtro modificado de piedra descendente



Imagen D.15. Implementación de lechuguín, flautas para oxigenación, arena de cuarzo y filtro de piedra



Imagen D.16. Inoculación de microorganismos eficientes (EM•1®) en el tanque sedimentador



Imagen D.17. Burbujeo por actividad microbiana (EM•1®) en el tanque sedimentador



Imagen D.18. Toma de muestras



Imagen D.19. Etiquetado de muestras



Imagen D.20. Agua contaminada en su llegada a la planta de tratamiento



Imagen D.21. Caja de aforo para determinación de caudal de entrada.



Imagen D.22. Material de preparación par microorganismos eficientes (EM•1®).



Anexo E

Documentación

Imagen E.1. Certificado de realización de análisis



EMPRESA PÚBLICA-EMPRESA MUNICIPAL DE
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AMBATO
DEPARTAMENTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el Sr. Paúl Omar Veintimilla Pozo, con CI. 1804376216, Egresado de la Facultad de Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica de la Universidad Técnica de Ambato, realizó la parte técnica y experimental de la Tesis previa a la obtención de su título terminal con el nombre "INNOVACIÓN E IMPLEMENTACIÓN BIOLÓGICA EN LA PLANTA DE PUERTO ARTURO – EPEMAPAA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y AGUAS SERVIDAS DOMICILIARIAS" durante los meses de Febrero y Abril del año 2013.

El Sr. Veintimilla ha realizado su trabajo experimental en el área de Aguas Residuales del Laboratorio de Control de Calidad y ha utilizado los equipos de este Laboratorio con responsabilidad y con criterio profesional.

Lo cual certifico para que el presente certificado sea usado como el Sr. Veintimilla conveniente.

Atentamente:

DRA. JEANNETTE DIAZ SALTOS

ANALISTA QUÍMICO DE EPEMAPAA

Imagen E.2. Resultados obtenidos en la primera etapa de análisis



**EMPRESA PÚBLICA-EMPRESA MUNICIPAL DE
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AMBATO
DEPARTAMENTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO**

**PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS - Estación de tratamiento Puerto Arturo, Ambato
para aguas contaminadas.**

Parámetro	Unidad	Etapa		
		Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	0,200	0,780	0,300
Cloruros	mg/L	298	362	286
Coliformes fecales	NMP/100ml	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,600	1,340	0,640
DBO	mg/L	274	323	226
DQO	mg/L	669	1014	919
Fluoruros	mg/L	38,4	25	21,6
Fosforo total	mg/L	34,00	29,80	26,60
Hierro total	mg/L	0,40	2,00	1,40
Nitritos	mg/L	0,300	0,380	0,340
Nitratos	mg/L	36	46	26
pH		9	8	7,5
Sólidos Sedimentables	ml/L	4	1	0,1
Sólidos Totales	mg/L	302	180	118
Sólidos Suspendidos	mg/L	375	359	337
Sulfatos	mg/L	220	140	140
Tensoactivos	mg/L	1,7	6,76	6,64

Laboratorio de control de calidad EMAPA-A

REALIZADO POR:

SR. PAUL VEINTIMILLA

SUPERVISADO POR:

DRA. JEANNETTE DIAZ - EP-EMAPA



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EP-EMAPA-A
Antigua Vía a Santa Rosa - Teléfono 03 2 585991

Imagen E.3. Resultados obtenidos en la segunda etapa de análisis



**EMPRESA PÚBLICA-EMPRESA MUNICIPAL DE
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AMBATO
DEPARTAMENTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO**

**SEGUNDA ETAPA DE ANÁLISIS - Estación de tratamiento Puerto Arturo, Ambato
para aguas contaminadas.**

Parámetro	Unidad	Etapa		
		Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	0,380	0,140	0,120
Cloruros	mg/L	102	178	178
Coliformes fecales	NMP/100ml	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,300	0,720	0,580
DBO	mg/L	213	208	126
DQO	mg/L	359	551	330
Fluoruros	mg/L	0,2	0,10	0,0
Fosforo total	mg/L	17,80	15,20	4,80
Hierro total	mg/L	0,40	0,20	0,20
Nitritos	mg/L	0,240	0,180	0,180
Nitratos	mg/L	16	24	22
pH		8	7,5	7,5
Sólidos Sedimentables	ml/L	3	0,2	0
Sólidos Totales	mg/L	249	153	50
Sólidos Suspendidos	mg/L	564	516	383
Sulfatos	mg/L	480	300	240
Tensoactivos	mg/L	8,2	9,64	4,44

Laboratorio de control de calidad EMAPA-A

REALIZADO POR:

SR. PAUL VEINTIMILLA

SUPERVISADO POR:

DRA. JEANNETTE DIAZ - EPEMAPAA



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EP-EMAPA-A
Antigua Vía a Santa Rosa - Teléfono 03 2 585991

