

Evaluación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Tecnologías de la ESPOL, considerando su posterior reutilización en riego.

Ivonne Consuelo Cuenca Cobeña⁽¹⁾, Ángel Rafael Álava Gutiérrez⁽²⁾ José Guillermo Cárdenas Murillo, Ing.⁽³⁾

Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ICQA)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

Ing. Químico. Universidad Estatal de Guayaquil. Profesor Contratado-Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales⁽³⁾

icuenca@espol.edu.ec⁽¹⁾, aralava@espol.edu.ec⁽²⁾, jgcarden@espol.edu.ec⁽³⁾

Resumen

El presente proyecto tiene la finalidad de caracterizar las actuales descargas de aguas residuales del área de Tecnologías de la ESPOL para evaluar y diseñar conceptualmente un adecuado Sistema de Tratamiento de estas aguas, para su posterior reutilización en riego de áreas verdes en la vía politécnica, canchas, jardines, etc.; lo que implicaría un beneficio económico y ambiental para la ESPOL. Se analizarán varias opciones para el diseño conceptual del Sistema de Tratamiento; se compararán los métodos y al final se seleccionará la alternativa óptima de diseño que busca ser eficiente y de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento. Sabiendo las características de las aguas a tratar, las condiciones climáticas, disponibilidad del terreno y el tipo de suelo, se procedió a analizar las diversas alternativas de diseño, y se concluyó que la mejor alternativa de diseño fue el Sistema de Tratamiento compuesto por: canal de desbaste, fosa séptica, laguna facultativa, laguna de maduración y un reservorio. El diseño se realizó tomando los valores promedios de los parámetros de diseño, medidos desde enero hasta julio del presente año, considerando además un factor de seguridad de 1,25 tomando en cuenta las variaciones a la cual operaría el sistema. El Sistema de Tratamiento de aguas residuales propuesto, abarca en conjunto un área total de 1000 m², el mismo que no requiere altos costos de operación y mantenimiento a corto plazo comparado con otros Sistemas de Tratamiento de aguas residuales, siendo las necesidades de mano de obra solventadas por personal de Mantenimiento de la ESPOL.

Palabras Claves: *Diseño conceptual, Sistema de Tratamiento, Aguas residuales, Canal de Desbaste, Fosa Séptica, Laguna Facultativa, Laguna de Maduración.*

Abstract

This Project aims to characterize the existing wastewater discharge from the Technology area of ESPOL to evaluate and conceptually design an appropriate treatment system of these waters for reuse in irrigation of green areas in the polytechnic route, fields, gardens, etc., which would imply an economic and environmental benefit for the ESPOL. Several options were discussed for the conceptual design of the treatment system; the methods were compared and finally select the best alternative of design that seeks to be efficient and low cost of construction, operation and maintenance. Knowing the characteristics of the water to be treated, weather conditions, availability of land and soil type, we proceeded to analyze the various design alternatives, and concluded that the best design alternative treatment system is composed by: roughing canal, septic tank, facultative pond, maturation pond and a reservoir. The design was done by taking the average values of design parameters, measured from January to July of the present year, also considering a safety factor of 1,25 taking into account the variation which would operate the system. The proposed system of wastewater, together covering a total area of 1000 m², it does not require high operating and maintenance costs in short term compared to others systems of wastewater treatment, being the needs of manpower solved by the Maintenance personal of the ESPOL.

Keywords: *Conceptual design, Treatment System, Wastewaters, Roughing Canal, Septic Tank, Facultative Pond, Maturation Pond.*

1. Introducción

Nuestro proyecto tiene como objetivo principal, el diseño conceptual y de ingeniería de un Sistema de

Tratamiento de las aguas residuales adecuado a las necesidades del área de Tecnologías de la ESPOL. Dentro de este contexto es importante mencionar que los factores a considerar principalmente son los

recursos económicos y humanos necesarios para la implementación de un sistema eficiente, poco mecanizado y de bajo costo de inversión y operación.

Para pequeñas comunidades, como en el caso del área de Tecnología de la ESPOL, que generan residuos líquidos biodegradables, puede considerarse a las lagunas de estabilización como una muy buena opción para el tratamiento de las aguas.

Estas lagunas son depósitos, construidos mediante la excavación y compactación de la tierra, que almacenan las aguas residuales por un determinado período de tiempo. Son reactores bioquímicos complejos que requieren un adecuado diseño, donde además de considerar el modelo matemático, es necesario tomar en cuenta las condiciones ambientales que determinan su forma de operación.

El proyecto busca establecer las definiciones, conceptos básicos y modelos matemáticos que se utilizarán para evaluar y seleccionar la alternativa óptima más conveniente para el diseño conceptual de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales del área de Tecnología de la ESPOL.

En este proyecto no se incluye el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del área disponible para el sistema de tratamiento; así como el estudio del tratamiento de los lodos, necesario en los sistemas de depuración. Solo se hace mención de ellos y de su importancia dentro del proyecto.

2. Generalidades

En una laguna de estabilización el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros microorganismos. Figura 1.

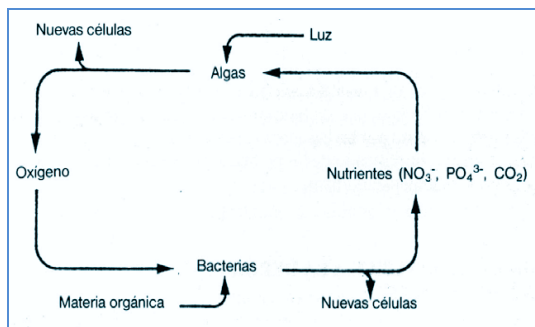


Figura 1. Ciclo simbiótico microalgas - bacterias

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica predominante. En este sentido se distinguen los siguientes tres tipos de lagunas:

Aerobias: Donde la estabilización de la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes se realizan en presencia de oxígeno disuelto, el cual se suministra en forma natural o artificial.

Anaerobias: La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anóxicas) y/o combinado (anaerobia).

Facultativas: La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias. Las primeras se mantienen en el estrato superior de la laguna, mientras que en el inferior se realiza la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno. Figura 2.

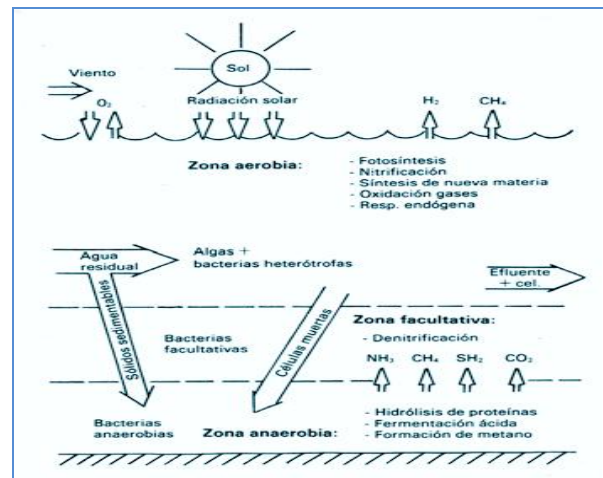


Figura 2. Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativas

El término lagunas de maduración o de pulimento se aplica a aquellas lagunas aerobias ubicadas como el último paso de los sistemas lagunares.

3. Metodología

La recopilación de los datos climatológicos (precipitaciones, viento y temperatura del aire), se tomaron de fuentes meteorológicas.

Las muestras se tomaron en la caja receptora de las aguas residuales proveniente del núcleo de Tecnologías, utilizando el material y equipos necesarios, a diferentes horas (muestreo compuesto). La medición del caudal y temperatura también se tomaron de la caja receptora

La caracterización de estas aguas se analizaron en base a los métodos correspondientes de muestreos, conservación y análisis de muestras que se encuentran detallados en el Standard Methods APHA – AWWA – WPCF Edition 21.

La hoja de cálculo, el modelado, así como el diseño conceptual del sistema, se realizó con ayuda de programadores como Excel, Visio Professional y Autocad.

4. Localización y ubicación del proyecto

El proyecto está localizado en la provincia del Guayas, Cantón Guayaquil, km 30.5 vía Perimetral, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), específicamente en el área de Tecnologías a 100 m de la vía principal. Teniendo como coordenadas:

$$S \text{ (latitud)} = 02^{\circ}09,023'$$

$$W \text{ (longitud)} = 079^{\circ}57,404'$$

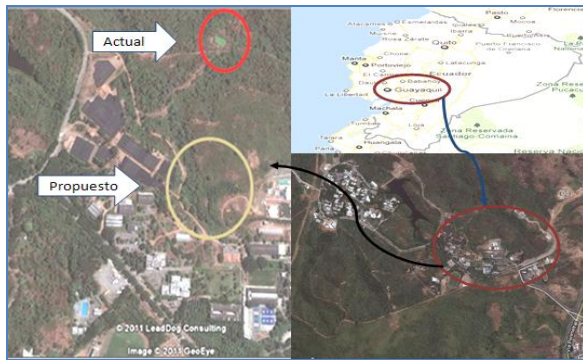


Figura 3. Vista Satelital del terreno en tecnologías de la ESPOL

El Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra (CIPAT) estuvo encargado del estudio geofísico y topográfico del área de Tecnologías de la ESPOL.

4.1. Levantamiento Topográfico

Mediante el estudio se determinó la profundidad en el centro del área de estudio, siendo ésta de 4,6 m con respecto a la carretera, lo que permite realizar la planificación de trabajos en función de la profundidad deseada para el proyecto. Ver figura 4a. y 4b.

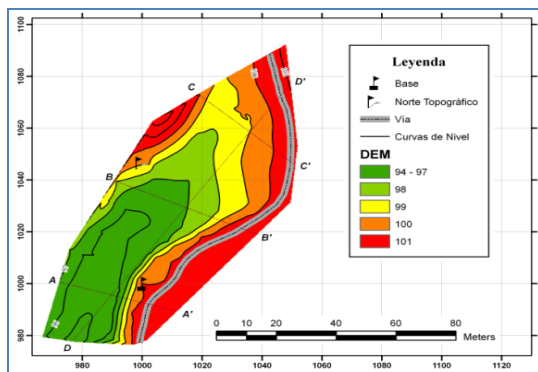


Figura 4a. Mapa topográfico

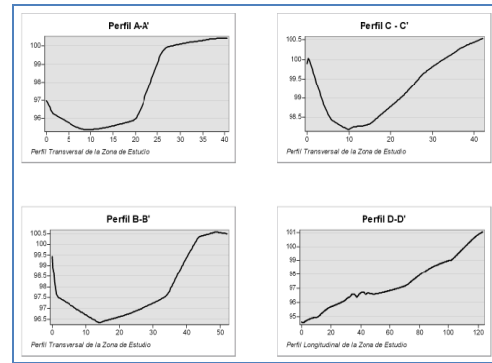


Figura 4b. Representación de perfiles

4.2. Prospección geoelectrica

El resultado tal como se indica en la figura 5. (Interpretación del SEV) determina que es necesario tomar medidas de extrema precaución puesto de que se trata de un material con una permeabilidad media y existe el riesgo de contaminar el suelo, e incluso llegar a alcanzar reservas subterráneas de agua.

- 0-50 cm se muestra una capa de relleno formado por material pétreo en una matriz areno-arcillosa.
- 1-5 m se encuentra un material de mezcla, compuesto por una matriz areno-arcillosa y bloques grandes de roca.
- 5-17 m se encuentra una capa de roca meteorizada.
- 17 metros en adelante baja la resistencia y es indicativo de zonas de fracturas con relleno de material fino.

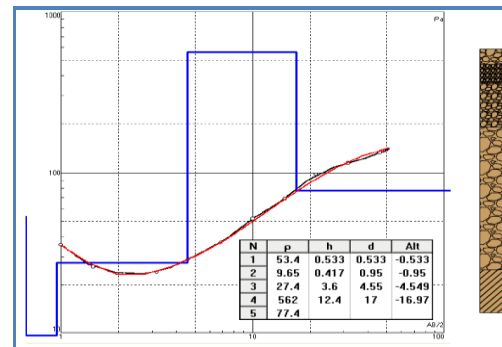


Figura 5. Curva de interpretación del SEV y Modelo de perfil.

5. Obtención y análisis de resultados para el diseño conceptual del sistema de tratamiento.

A continuación se detallan en la tabla 1. los resultados promedios obtenidos de la fuente meteorológica Metar de la ciudad de Guayaquil, donde se expresan los datos de temperatura del aire, precipitaciones y viento.

Tabla 1. Datos climáticos de la ciudad de Guayaquil

Año: 2010	Temperatura Media (°C)	Precipitaciones (mm)	Velocidad de viento (km/h)
Abril	27,6	154,4	7,41
Mayo	26,8	0	8,67
Junio	25,2	0	10,16
Julio	24,7	0	11,41
Agosto	24,0	0	12,83
Septiembre	24,4	0	12,78
Octubre	24,4	0	12,88
Noviembre	24,0	1,0	11,81
Diciembre	25,5	48,5	8,31
Año: 2011			
Enero	26,3	83,3	7,32
Febrero	26,5	133,8	6,39
Marzo	27,6	6,0	8,97
Abril	26,9	262,1	8,17
Mayo	27,0	0	10,08
Junio	25,8	3,5	9,53
Julio	25,4	7,1	8,74
Promedio	25,76	43,73	9,72

En las siguientes tablas 2a. y 2b. así como en los gráficos 1a. y 1b. se muestran los resultados de caudal y de temperatura del agua.

Tabla 2a. Caudales máximos, mínimos y medios

CAUDAL			
Fecha	Caudal máximo	Caudal mínimo	Caudal Medio
10/01/2011	49,5	27,3	38,4
21/02/2011	23,5	15,1	19,3
16/03/2011	37,2	21,0	29,1
31/05/2011	50,2	28,1	39,2
24/06/2011	54,8	22,6	38,7
08/07/2011	54,1	32,3	43,2
Caudal medio (m3/día)	34,6		
Caudal medio (m3/hora)	1,4		
Caudal máximo (m3/día)	54,8		
Caudal máximo (m3/hora)	2,3		
Factor Punto (Fp)	1,58		

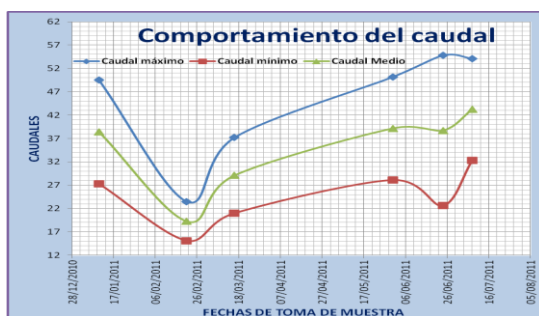


Gráfico 1a. Comportamiento del caudal

Tabla 2b. Temperaturas máximas, mínimas y medias del agua

TEMPERATURA DEL AGUA			
Fecha	Temp. máxima	Temp. mínima	Temp. Media
10/01/2011	24,1	23,7	23,9
21/02/2011	26,1	25,0	25,6
16/03/2011	25,0	24,0	24,5
31/05/2011	27,5	27,0	27,3
24/06/2011	27,5	26,5	27,0
08/07/2011	26,5	26,0	26,3
Temperatura media (°C)	25,7		
Temperatura máxima (°C)	27,5		

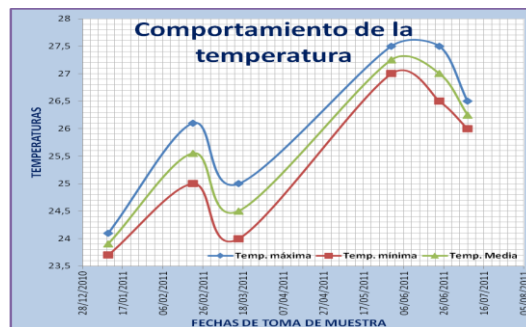


Gráfico 1b. Comportamiento de la temperatura del agua

Para el diseño conceptual del sistema de tratamiento de aguas residuales para el área de Tecnologías se toma en consideración 4 parámetros de diseño, los mismos cuyos resultados obtenidos de los análisis respectivos, se muestran a continuación en los gráficos 2a. 2b. 2c. y 2d.

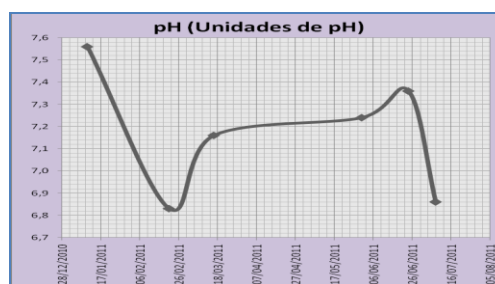


Gráfico 2a. Comportamiento del pH

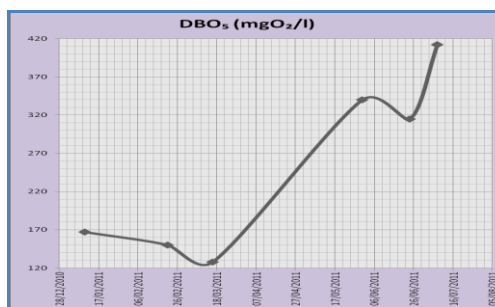


Gráfico 2b. Comportamiento del DBO₅

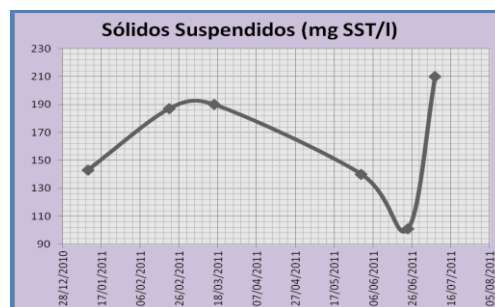


Gráfico 2c. Comportamiento de los Sólidos Suspendedos Totales.

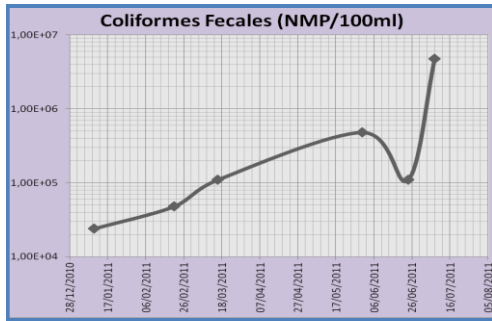


Gráfico 2d. Comportamiento de los Coliformes Fecales

En base a los resultados y al análisis gráfico de los mismos, se puede definir la línea base de las condiciones de las aguas a tratar en el Sistema de Tratamiento que se desea evaluar.

6. Diseño conceptual del sistema de tratamiento de aguas residuales para tecnologías

Para realizar en forma apropiada el diseño y la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, es necesario tener en cuenta las siguientes fórmulas y ecuaciones:

- ✓ *Tiempo de Retención Hidráulica:*

$$T_r = \frac{V}{Q}$$

- ✓ *Carga Orgánica:*

$$C_o = (DBO_5)(Q)$$

- ✓ *Habitantes Equivalentes:*

$$h. e. = \frac{Q(m^3/día) \times DBO_5(mg/l)}{60 g DBO_5/día}$$

- ✓ *Ecuación del método de mezcla completa para el diseño de la laguna facultativa:*

$$T_r = \frac{1}{k_d} \left(\frac{C_i}{C_e} - 1 \right)$$

$$K_d = k_{c35} (1.085)^{T-35}$$

$$K_{c35} = 1,2 \text{ días}^{-1}$$

- ✓ *Ecuación de Marais para el diseño de la laguna de maduración:*

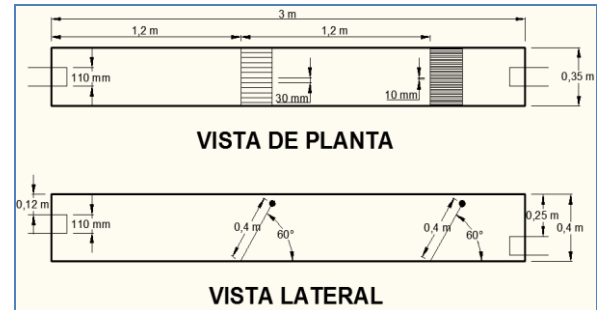
$$N_e = \frac{N_i}{1 + k_b \cdot t}$$

$$k_b = 2.6(1.19)^{T-20}$$

6.1. Descripción de la alternativa óptima seleccionada

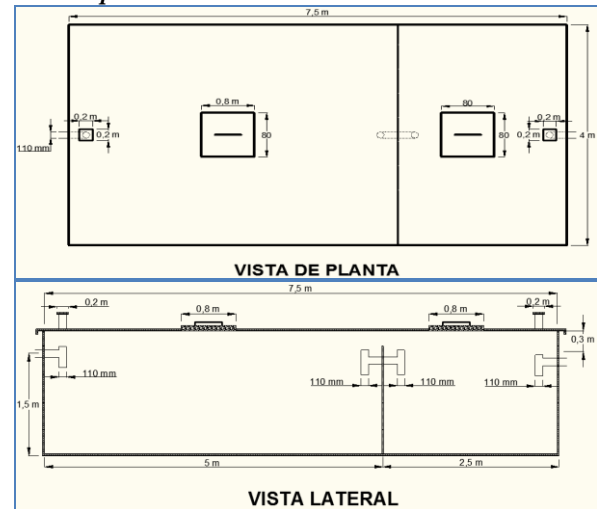
A continuación se describe cada una de las etapas de tratamiento considerando los modelos y fórmulas matemáticas planteadas anteriormente.

Canal de Desbaste:



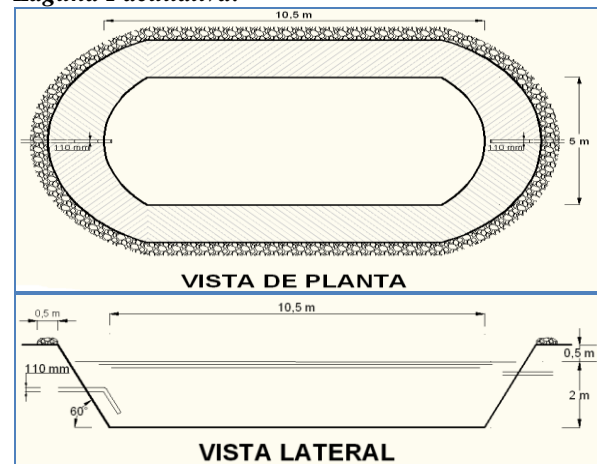
Plano 1. Diseño conceptual del Canal de desbaste

Fosa Séptica:



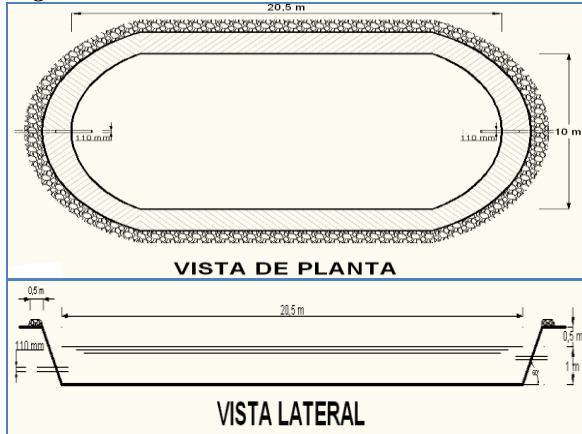
Plano 2. Diseño conceptual de la Fosa Séptica

Laguna Facultativa:



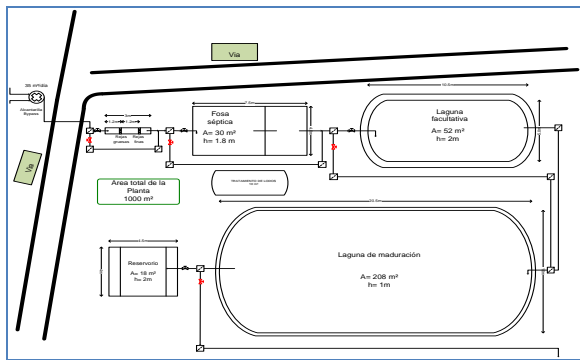
Plano 3. Diseño conceptual de la Laguna Facultativa

Laguna de Maduración:



Plano 4. Diseño conceptual de la Laguna de Maduración

Con lo cual el esquema final de la planta de tratamiento de aguas residuales, propuesta para el área de Tecnologías de la ESPOL, quedó de la siguiente manera:



Plano 5. Vista de Planta del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto en el área de Tecnologías-ESPOL.

7. Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento propuesto

Del arranque del sistema, similar a cualquier proceso biológico, ninguna laguna funciona en el momento de su arranque con la eficiencia de diseño. Se necesita un período de pulimento que depende de la temperatura, características del agua residual, y sobre todo, del buen desarrollo de la población biológica, entre otros factores.

En una laguna facultativa, el crecimiento de las algas no se establece tan rápidamente como la población de bacterias de las lagunas aireadas, por lo que el periodo de aclimatación es mayor.

Por su gran área se recomienda dividir temporalmente la laguna en secciones mediante la construcción de uno o dos diques de tierra con una

altura no mayor de 50 cm, los cuales se colocan a lo ancho. Esta medida permite que el fondo de la laguna selle, más rápido y previene el crecimiento de plantas acuáticas.

El arranque de las lagunas de pulimento es similar al de las lagunas facultativas, llenándose gradualmente con la construcción de diques temporales.

7.1. Monitoreo y Frecuencia de muestreo

El control de un proceso de tratamiento se basa en la medición de parámetros de calidad del agua. Los más significativos para este sistema son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), grasas y aceites (G y A), coliformes fecales (CF), nitritos (N-NO₂), nitratos (N-NO₃), nitrógeno amoniacal (N-NH₄), fosfatos (P-PO₄).

Para el análisis de las aguas, según su reutilización en riego, es necesario tener datos de Dureza, Alcalinidad, Sodio y Cloruros. Con el fin de determinar el índice RAS y la Salinidad, para definir la influencia de estas aguas, con la permeabilidad del suelo a ser regado.

$$RAS = \frac{Na}{\left(\frac{Ca + Mg}{2}\right)^{0.5}}$$

Donde,

Na = meq/l de sodio

(Ca + Mg) = meq/l de calcio y magnesio (Dureza)

Para tomar la muestra del influente se recomienda hacerlo en la estructura anterior a la entrada de la laguna, como se muestra en la Figura 6.

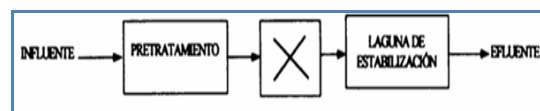


Figura 6. Localización de la toma de muestra del influente de la laguna.

Los muestreos deben hacerse periódicamente, para así llevar un control de la eficiencia de los sistemas de tratamiento individuales así como el sistema de tratamiento completo. Es aquí donde el agua tratada va a ser evaluada para, que de acuerdo al cumplimiento de la Norma, determinar su reutilización.

En la siguiente tabla 3. se muestra los principales tipos de análisis que se deben realizar y la frecuencia de caracterización de los mismos en un periodo trimestral.

Tabla 3. Frecuencia de caracterización de las aguas del Sistema de Tratamiento de aguas residuales del área de Tecnología-ESPOL

Parámetro	Unidad	Resultado				Frecuencia muestreo
		# 1	# 2	# 3	# 4	
pH	U de pH					12
Conductividad	mhos/cm					12
Oxígeno Disuelto	mgOD/l					12
DBO ₅	mgO ₂ /l					6
DQO	mgO ₂ /l					6
Turbiedad	UNT					6
Amonio	mgN-NH ₃ /l					3
Nitratos	mgNO ₃ /l					3
Nitritos	mgNO ₂ /l					3
Fosfatos	mgP-PO ₄ - ³ /l					3
Sólidos Totales	mg ST/l					3
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l					3
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l					3
Sólidos Sedimentables	ml / l					3
Coliformes Totales	NMP/100ml					6
Coliformes Fecales	NMP/100ml					6
Dureza	mg/l					3
Alcalinidad	mg/l					3
Sodio	meq/l					3
Cloruros	meq/l					3

1: Entrada a la fosa séptica.
 # 2: Entrada a la laguna facultativa.
 # 3: Entrada a la laguna de maduración.
 # 4: Entrada al reservorio.

7.2. Mantenimiento

Existen dos tipos de mantenimiento:

✓ **Preventivo.** Se debe realizar para conservar en buen estado las instalaciones de la planta de Tratamiento asegurando su buen funcionamiento y alargando su vida útil..

✓ **Correctivo.** Consiste en la reparación inmediata de cualquier daño que sufran las instalaciones.

En caso de los mantenimientos que impliquen cerrar una etapa del proceso de tratamiento, existen canales auxiliares que permiten pasar de una etapa a otra.

8. Costos

8.1. Costos aproximados de inversión

Se entiende por costos de inversión a aquellos costos por materiales de construcción (Tabla 4a.) y costos por compra e instalación de geomembrana (Tabla 4b.).

Tabla 4a. Costos aproximados de materiales de construcción

Ítem	Materiales	Costos
1	Obra civil	\$ 11.000
2	Sistema de tuberías	\$ 2.700
Total		\$ 13.700

Tabla 4b. Costo por compra e instalación de geomembrana

Ítem	Materiales	Costos
1	Geomembrana	\$ 4.000
Total		\$ 4.000

8.2. Costos aproximados por operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento son los referidos al funcionamiento de una planta de tratamiento para hacer producir la capacidad instalada

Se presenta en la siguiente tabla 5. los valores referenciales por pago a personal que deberá estar incluido en las actividades de operación, monitoreo y mantenimiento del Sistema de Tratamiento propuesto en este proyecto.

Tabla 5. Costo anual aproximado por personal de la Planta de Tratamiento de Tecnologías de la ESPOL

Item	Detalle	Costo anual
1	Personal de mantenimiento	\$ 1.200
2	Personal de Operación	\$ 2.500
3	Personal de Laboratorio	\$ 1.000
Total		\$ 4.700

Tabla 6. Costo aproximado anual por monitoreo y análisis de las aguas del Sistema de Tratamiento de Tecnologías-ESPOL

Parámetro	Frecuencia Muestreo Trimestral
pH	48
Conductividad	48
Oxígeno Disuelto	48
DBO ₅	24
DQO	24
Turbiedad	24
Amonio	12
Nitratos	12
Nitritos	12
Fosfatos	12
Sólidos Totales	12
Sólidos Disueltos Totales	12
Sólidos Suspendidos Totales	12
Sólidos Sedimentables	12
Coliformes Totales	24
Coliformes Fecales	24
Dureza	12
Alcalinidad	12
Sodio	12
Cloruros	12
Costo Aproximado	\$ 4.500

De acuerdo al análisis realizado del costo de la Implementación de un sistema de Tratamiento de aguas residuales para el área de Tecnologías de la ESPOL, por construcción, Operación y Mantenimiento; el monto total de inversión aproximado para el primer año es de **\$ 26.900,00**

9. Conclusiones

El proceso para la Evaluación del Sistema de Tratamiento, comenzó con la caracterización de las aguas residuales procedentes del área de Tecnologías. Se tomaron muestras compuestas durante 6 meses, y se analizaron los parámetros más representativos a ser utilizados en el diseño final. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Aguas del ICQA, utilizando los

métodos recomendados por el Standard Methods APHA-AWWA-WPCF (Métodos Normalizados – Para el análisis de aguas potables y residuales).

Analizando los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua a tratar, se pudo observar un aumento en los valores de los parámetros de diseño en los meses de mayo, junio y julio, esto es debido al inicio de clases y actividades en el área de Tecnologías.

Por esto, se decidió trabajar con los valores promedios de los valores de los parámetros de diseño, medidos desde enero hasta julio del presente año, considerando además un factor de seguridad de 1,25 tomando en cuenta las variaciones a la cual operaría el sistema.

El análisis de la carga en base a la relación entre la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno ($DBO_5/DQO = 0,48$), indica que el agua a tratar es biodegradable, por lo que se posibilita el empleo de lagunas de oxidación mediante tratamiento biológico.

En el diseño conceptual del Sistema de tratamiento de aguas residuales, se utilizó para la laguna Facultativa el modelo de mezcla completa y cinética de primer orden, trabajando con la temperatura más baja del agua. Para la laguna de Maduración se trabajó con la ecuación de Marais, utilizando la temperatura media del agua. La aplicación de estas fórmulas nos permitió realizar el diseño conceptual del sistema tomando en cuenta las condiciones iniciales de pre-tratamiento y tratamiento primario, además de las condiciones climáticas.

El gasto anual de \$24.250 aproximadamente, por consumo de agua potable en riego de áreas verdes de la ESPOL, exige la implementación de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales, que permita reutilizar el agua derivando un ahorro significativo para la ESPOL.

El análisis económico del proyecto indica que la inversión aproximada para la implementación del Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el área de Tecnologías es de \$26.900,00 que comparado con el gasto anual de \$24.250,00 por consumo de agua potable, se concluye que para el primer año se recupera la inversión.

10. Agradecimientos

A nuestras familias y a todas las personas que de algún modo colaboraron en la realización de este proyecto; al Ing. Guillermo Cárdenas (Director del Proyecto de Graduación), al Proyecto de la AECID y

sus colaboradores; y al Ing. Justo Huayamave (Responsable del Laboratorio de Aguas), por su invaluable ayuda.

11. Referencias

[1] Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento-DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. Editorial Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México D.F. Año 2007.

[2] Centro de las Nuevas Tecnologías del agua (CENTA). MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. Editorial IDEASAMARES. España. Año 2008..

[3] Los autores ICREW. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Editorial ITC. Primera edición. Gran Canaria, España. Año 2006.

[4] APHA, AWWA, WPCF. MÉTODOS NORMALIZADOS – Para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos S.A. Decimoséptima edición. Madrid, España. Año 1992.

[5] Presidencia de la Republica. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Libro VI.

[6] Romero, J. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. Editorial Alfaomega. Tercera Edición. Colombia. Año 1999.

[7] Instituto Tecnológico de Canarias. SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURAL. Departamento de Agua – División de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Editorial ITC. España. Año 2009.

José Guillermo Cárdenas Murillo, Ing.

Visto Bueno del Director del Proyecto de Graduación

Fecha: 05/12/2011

Ivonne Consuelo Cuenca Cobeña
ICQA

Ángel Rafael Álava Gutiérrez
ICQA