

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSGRADO



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE
TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES, PROVENIENTES DE
LAS INSTALACIONES DE LA UAAAN. (UN ENFOQUE DE
COSTOS)

Reporte de Estancia

Que Presenta GERMAN IGNACIO CORTES VASQUEZ

Como Requisito Parcial Para Obtener el Diploma Como
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS
NATURALES DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

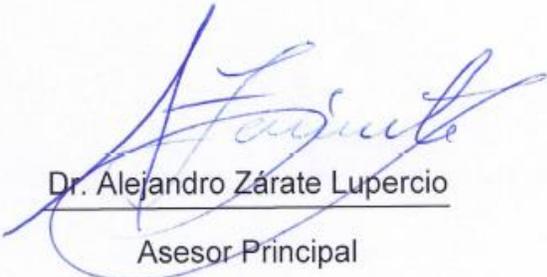
Saltillo, Coahuila

Diciembre 2015

ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE
AGUAS RESIDUALES, PROVENIENTES DE LAS INSTALACIONES DE LA
UAAAN. (UN ENFOQUE DE COSTOS)

Reporte de Estancia

Elaborado por GERMAN IGNACIO CORTES VASQUEZ Como Requisito
Parcial Para Obtener el Diploma Como
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES
DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS con la supervisión y aprobación del
Comité de Asesoría



Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Asesor Principal



Dr. Luis Samaniego Moreno
Asesor



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A Dios, ya que me dio lo más importante, vida y salud.

A mi Alma Mater, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de la Especialidad satisfactoriamente y ascender un escalón más en la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por brindarme el apoyo económico y así hacer realidad mis propósitos de seguir con mi preparación.

Agradezco a la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila, por medio del Ing. Vicente Loera y el, Ing. Mario Saucedo, por brindarme la oportunidad de realizar mi estancia, así como por facilitarme la información necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Alejandro Zarate Lupercio, agradezco los conocimientos que me compartió en sus clases, porque siempre estuvo atento a las dudas que surgieron en el proceso, agradezco por ser mi asesor principal durante toda la especialidad y así hacer posible la realización de este trabajo.

Al Dr. Luis Samaniego Moreno, por ser parte del equipo de trabajo de mi investigación, por la amabilidad y disposición que me brindo.

A la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, por ser parte del equipo de trabajo, amabilidad y disposición que me brindo.

También agradezco a todos los profesores que forman la planta docente de la Especialidad, por el apoyo y por las clases que me brindaron las cuales fueron muy enriquecedoras.

Agradezco también a todos los compañeros de la Especialidad, por su amabilidad, respeto y trabajo en equipo.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
JUSTIFICACION	4
CAPITULO I: REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
CONCEPTOS GENERALES	5
Aguas residuales.....	5
Aguas residuales domesticas.....	5
Aguas residuales industriales.....	5
Aguas de lluvia	5
Características de las aguas residuales	5
Demanda química de oxígeno (DQO)	6
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	6
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	6
Lagunas de estabilización aerobias	6
Lagunas de estabilización anaerobias	7
Lagunas de estabilización facultativas	7
Periodo de retención hidráulica	7
Carga orgánica.....	7
LODOS ACTIVADOS.....	8
Proceso de tratamiento del agua residual en los lodos activados	9
HUMEDALES ARTIFICIALES	10
Diferencia entre un sistema superficial y subsuperficial	10
Humedal de Flujo Superficial- HFS (Free Water Surface- FWS).....	10
Humedal de Flujo Subsuperficial- HFSS (Vegetated Submerged Bed- VSB):	
.....	11
Elementos de un humedal artificial.....	12
EL VALOR PRESENTE NETO	12
CAPITULO II: DESARROLLO DE ACTIVIDADES	13
Planteamiento del tema y los objetivos a lograr	13
Recopilación de la información.....	13
Revisión y análisis de la información.....	13
Realización de la memoria de cálculo de las tres alternativas de tratamiento	
de aguas residuales.	13
Cálculo del VPN (Valor Presente Neto), de los tres tratamientos.....	14
Conclusiones y Bibliografía.	14
CAPITULO III: RESULTADOS.....	15

CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	24
ANEXOS.....	26

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: CALCULO DEL COSTO DE UN SISTEMA LAGUNAR PARA 1 MODULO DE 6 LPS	15
CUADRO 2: COSTO DE LA PLANTA LODOS ACTIVADOS	17
CUADRO 3: COSTO DE UNA PLANTA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	18
CUADRO 4: COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TRES SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA CAPACIDAD DE 12 LPS	19
CUADRO 5: COSTOS TOTALES	20
CUADRO 6: CALCULO DEL VALOR PRESENTE NETO	21

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA DE PLANTA DE LODOS ACTIVOS	9
FIGURA 2: HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL.....	11
FIGURA 3: HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	11

INTRODUCCION

En la actualidad el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en un tema central en las políticas del gobierno, pues si en algo se coincide, es en que estamos alterando demasiado los ecosistemas con nuestras acciones, llevándonos a una pérdida de ríos, arroyos, etc.

El panorama para México en cuanto al tratamiento de aguas residuales, se tiene que para el año 2014, según la CONAGUA, el caudal de aguas residuales tratadas alcanzo el 52.7 % de estas. En el país existen 11 estados que han alcanzado o sobrepasado la meta de tratar el 60 % de las aguas residuales colectadas, y estos se ubican en su mayoría en la región norte.

De acuerdo con los datos del inventario nacional de plantas, de tratamiento municipales (CNA, 2014) existe un total de 2337 plantas, de las cuales 718 (31 %) son Lagunas de Estabilización, siendo el proceso de tratamiento más utilizado en el país, seguido de Lodos Activados, donde se tienen registradas 709 plantas (30 %).

En los estados de Durango, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, Aguascalientes, Colima, México y Tlaxcala se encuentran localizadas la mayor cantidad de lagunas, aunque en los estados de Coahuila, Durango, Baja California, Tabasco, Tamaulipas, Guanajuato, Jalisco, se encuentran las lagunas de mayor capacidad de tratamiento. La laguna de mayor caudal, trabajando con 80% de eficiencia en la República Mexicana, es la laguna facultativa localizada en Mexicali, Baja California con un caudal de 1,100 Us. El efluente de este sistema se utiliza para el riego de 96 hectáreas dedicadas a la agricultura (CONAGUA, 2007).

El presente proyecto surge de la necesidad de conocer el costo aproximado de tres sistemas de tratamientos de aguas residuales, para que en un futuro se puedan tomar decisiones al respecto. En este sentido el proyecto cumplió con

dar a conocer los datos suficientes en cuanto a costos de los tratamientos, es importante señalar que el trabajo se realizó en conjunto con el Departamento de Agua Limpia y Alumno de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Realizar una estancia en la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, con el fin de trabajar en colaboración sobre el tema “ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES, PROVENIENTES DE LAS INSTALACIONES DE LA UAAAN. (UN ENFOQUE DE COSTOS)”

Objetivos Específicos

- Realizar una revisión de literatura respecto al tema a tratar.
- Hacer una comparación de los tres sistemas de tratamientos en cuanto al Valor Presente Neto.
- Presentar los resultados del trabajo desarrollado en cuanto a los costos.

JUSTIFICACION

Específicamente, el motivo por el cual se optó por el tema de tratamientos de aguas residuales, responde a la curiosidad por saber cómo podemos resolver la problemática de la contaminación de afluentes, ya que sabemos la gran cantidad de agua residual que generamos día a día tanto en las ciudades como en áreas rurales, si bien es cierto, en las ciudades ya se trata gran parte de estas aguas, en las zonas rurales se están descargando directamente a los ríos y arroyos, no olvidemos que una parte importante de la población en nuestro país vive en zonas rurales. Este trabajo viene a dar una idea de que tipo de tratamiento podría convenir en cuanto a costos, y más cuando se trata de zonas rurales con un presupuesto limitado.

CAPITULO I: REVISIÓN DE LITERATURA

Conceptos Generales

En este apartado es importante empezar por familiarizarse con algunos conceptos, que en lo general van a servir de guía para un mejor entendimiento del tema.

Aguas residuales

Se entiende por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencial de uso (Silva, 2004).

Las aguas residuales comunes corresponden a la siguiente clasificación:

Aguas residuales domesticas

Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). (Silva, 2004).

Aguas residuales industriales

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ellas es bastante variable, dependiendo de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). (Silva, 2004).

Aguas de lluvia

La escorrentía generada por aguas de lluvia es menos contaminada que las aguas residuales domesticas e industriales, y su caudal mayor. La contaminación mayor se produce en las primeras aguas que lavan las áreas por donde escurre (Silva, 2004).

Características de las aguas residuales

Físicas: temperatura, turbidez, color, olor, sólidos totales.

Químicas: materia orgánica, materia inorgánica, gases.

Biológicas: bacterias, algas.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente los materiales orgánicos presentes en una muestra de agua. Esta oxidación degrada el material orgánico biodegradable y no biodegradable (Silva, 2004).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO5). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica biodegradable. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad de agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica (Silva, 2004).

Lagunas de Estabilización

Concepto

Una laguna de estabilización es, básicamente, una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos. Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico (CNA, 2007).

Existen diferentes tipos de lagunas, de acuerdo al mecanismo respiratorio que predomina, son las siguientes:

Lagunas de estabilización aerobias

Son grandes depósitos de poca profundidad donde los microorganismos se encuentran en suspensión y prevalecen condiciones aerobias. El oxígeno es

suministrado en forma natural por la aeración de la superficie artificial o por la fotosíntesis de las algas. La población biológica comprende bacterias y algas principalmente protozoarios y rotíferos, en menor medida (CNA, 2007).

Lagunas de estabilización anaerobias

Las lagunas anaerobias son profundas y mantienen condiciones anóxicas y anaerobias en todo el espesor de la, misma. Esto es parcialmente cierto ya que en un pequeño estrato superficial se encuentra oxígeno disuelto (menos de 50 cm) dependiendo de la acción del viento, la temperatura y la carga orgánica (CNA, 2007).

Lagunas de estabilización facultativas

Una laguna facultativa se caracteriza por presentar tres zonas bien definidas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos, fermentativamente. Y por último una zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (CNA, 2007).

Periodo de retención hidráulica

Es el tiempo en el cual un volumen de agua, ingresa a la laguna, permanece en la misma hasta ser evacuado después de su tratamiento (Silva, 2004).

Su fórmula viene dada por:

$$R = V / Q \quad \text{donde:}$$

R= Periodo de retención en días.

V= Volumen de la laguna en (m³).

Q= Caudal afluente en (m³/día).

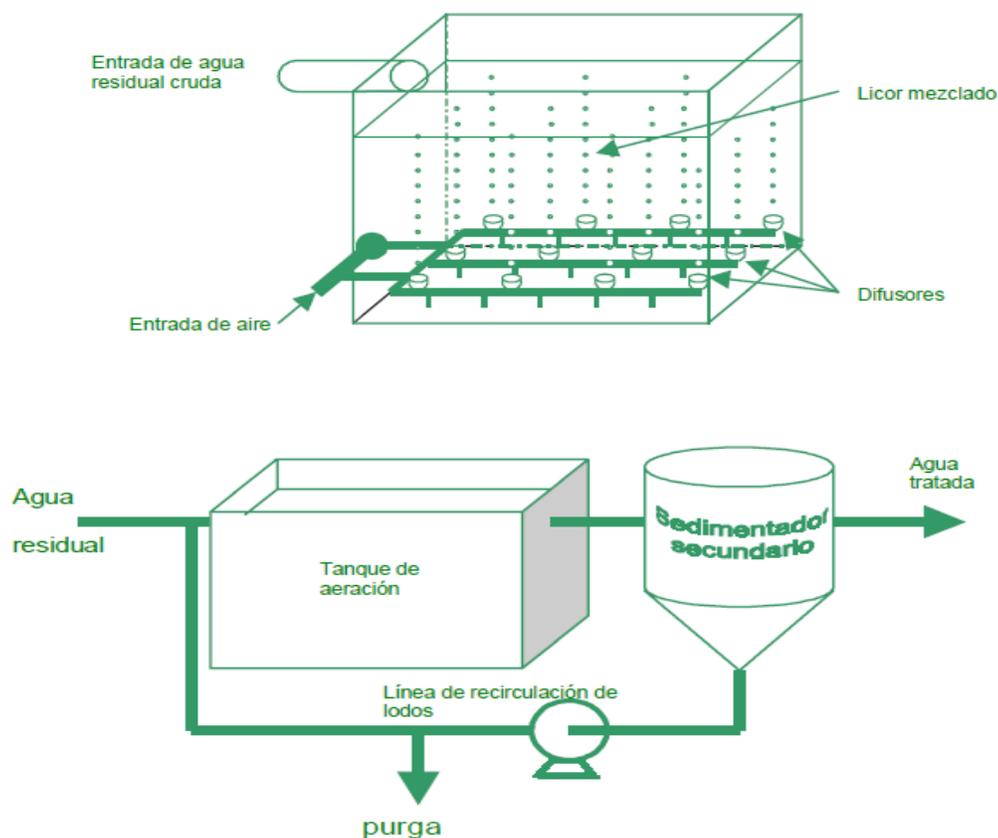
Carga orgánica

Normalmente estimada en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que es el oxígeno consumido por los microorganismos para oxidar el sustrato orgánico biodegradable de un agua residual (Silva, 2004).

Lodos Activados

El proceso de lodos activados tiene como objetivo la remoción de materia orgánica, en términos de DBO, de las aguas residuales. La remoción de DBO se logra por la conversión biológica, en presencia de oxígeno molecular, por microorganismos, de la DBO en CO_2 y H_2O y en nuevas células de microorganismos. Los microorganismos formados se separan por sedimentación gravimétrica, una parte son recirculados como siembra para la continuación del proceso y el resto se remueven. La combinación de microorganismos y agua residual se conoce como lodo activado. Los lodos en el reactor biológico están sujetos a un proceso de auto oxidación, conocido como respiración endógena, proceso que también consume oxígeno. El oxígeno requerido para el funcionamiento del proceso se suministra por medio de aireadores mecánicos o por medio de difusores. Los aireadores mecánicos pueden ser con turbina sumergida o superficiales de alta o de baja velocidad (CNA, 2007).

Figura 1: Esquema de Planta de Lodos Activos



CONAGUA, IMTA.

Proceso de tratamiento del agua residual en los lodos activados

Los lodos activados están constituidos por cinco elementos (figura 1): el tanque aeración, el sistema de aeración, el sedimentador, la línea de recirculación y la línea de purga.

En el tanque de aeración se mezclan la materia orgánica, los microorganismos y el oxígeno disuelto; esta mezcla se conoce como licor mezclado.

En la figura de arriba se representa un tanque de lodos activados con aeración por difusión.

Una vez que la mezcla abandona el reactor entra en un sedimentador secundario, en el cual se separa la biomasa del agua; la biomasa o lodo precipita hacia el fondo del sedimentador.

Estos lodos se regresan al tanque de aeración para mantener una concentración determinada de microorganismos.

Como la reproducción de microorganismos es muy alta, parte de ese lodo se tiene que desechar del sistema y tratarse para convertirlo en un residuo inocuo antes de su disposición final. La figura anterior es un diagrama de un sistema típico de lodos activados.

Existen muchas variantes de este proceso, pero en esencia todas contiene estos cinco elementos. Las diferencias están dadas por la forma en la que se alimenta el agua residual, la manera en que se suministra el aire y por los tiempos de retención hidráulico y celular.

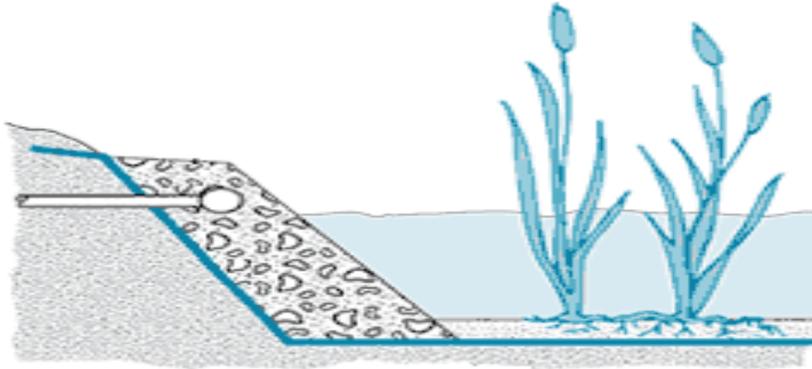
Humedales Artificiales

Según Vidales, *et.,al.*(2010). El pantano construido, es un canal artificial, ligeramente inclinado, muy frecuentemente impermeabilizado para evitar la contaminación de mantos acuíferos y, en ciertas ocasiones, rellenos de grava, forman un sustrato de filtración. El agua residual debe de pasar a través de esta cuenca enraizada con vegetación hidrófita para su depuración física, química y microbiológica.

Diferencia entre un sistema superficial y subsuperficial

Humedal de Flujo Superficial- HFS (Free Water Surface- FWS): Las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el flujo de agua se hace a través de las hojas y tallos de las plantas.

Figura 2: Humedal Artificial de Flujo Superficial.

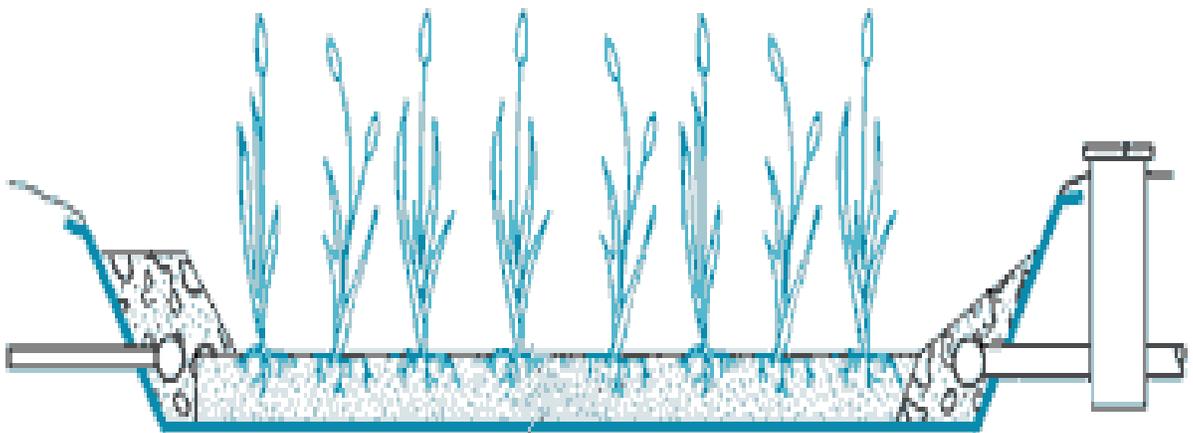


Tomado de: Samaniego, 2011.

Humedal de Flujo Subsuperficial- HFSS (Vegetated Submerged Bed- VSB):

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

Figura 3: Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial.



Tomado de: Samaniego, 2011.

Elementos de un humedal artificial

Los humedales artificiales consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, substrato, vegetación emergente y otros componentes como los microorganismos e invertebrados acuáticos (Osnaya, 2012).

El Valor Presente Neto

Se define como; la diferencia que existe entre los flujos de efectivo esperados (ingresos) y el valor presente o actual del desembolso o inversión original (egresos), ambos flujos son descontados al costo del capital que es la tasa de rendimiento que una empresa debe percibir sobre sus inversiones proyectadas a fin de mantener el valor de mercado de sus acciones.

Cabe mencionar que el costo de capital para la empresa se refiere a la tasa de interés a la que la empresa u organización le cuesta financiarse de recursos monetarios para disponer de una inversión inicial; por medio de las fuentes de financiamiento externas.

De una manera más sencilla, el VPN se define como la diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo.

CAPITULO II: DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Planteamiento del tema y los objetivos a lograr

Primeramente se realizó una sesión, entre el gerente, subgerente del Departamento de Agua Limpia y alumno, para determinar el tema y los objetivos, considerando la información previa que se tenía se pudo determinar hacia donde se iba a dirigir la investigación.

Recopilación de la información.

En este punto se buscó en varias fuentes de información todos los documentos referentes a tratamientos de aguas residuales, tales como: paginas electrónicas, tesis de investigación, libros, etc.

Revisión y análisis de la información.

Aquí se hace la tarea de leer los documentos recopilados, seleccionar los referentes al tema en cuestión, se tomaron en cuenta únicamente los que hablaban de:

Literatura sobre los tratamientos de aguas residuales.

Funcionamiento y Diseños de los Humedales Artificiales, Lodos Activados y Lagunas de Estabilización.

Operación y mantenimiento de los tratamientos.

Costos de los tratamientos de aguas residuales.

Realización de la memoria de cálculo de las tres alternativas de tratamiento de aguas residuales.

En este apartado se hicieron todos los cálculos en cuanto a diseño de los tratamientos se refiere, con sus respectivos costos, como se menciona a continuación:

Medidas de construcción, volúmenes, área de construcción, área neta de procesos, operación y mantenimiento.

Costos totales: capacidad, area requerida, costo/m² de terreno, costo total del terreno, costo total de la planta.

Cálculo del VPN (Valor Presente Neto), de los tres tratamientos.

Con las tablas de costo total de la planta se realizó la tabla de VPN, y se obtuvo de la siguiente manera:

Se determinan los años a los que se quiere calcular el VPN, se ponen los flujos de efectivo en todos los años. Cada entrada de efectivo y salidas se descuentan a su valor presente, después se suman, por lo tanto el VPN es la suma de todos los términos.

Conclusiones y Bibliografía.

Con base a los resultados obtenidos, se sacaron las conclusiones a las que se llegaron, y se reunieron todas las fuentes de información utilizadas para un buen soporte del trabajo.

CAPITULO III: RESULTADOS

CUADRO 1: CALCULO DEL COSTO DE UN SISTEMA LAGUNAR PARA 1 MODULO DE 6 LPS

BORDOS CON UNA CORONA DE 3M , UNA ALTURA DE 1M Y UNA PENDIENTE DE 2:1				
LAGUNA ANAEROBIA	M3	\$/M3	SUBTOTAL, \$	SUBTOTAL CON MANO DE OBRA (30%)
VOLUMEN BORDOS	418.50	117.26	49,073.31	63,795.30
VOLUMEN EXCAVACIÓN	1,751.00	30.88	54,070.88	70,292.14
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	194.61	117.26	22,819.38	29,665.20
TOTAL-1				163,752.64
LAGUNA FACULTATIVA				
VOLUMEN BORDOS	2,379.10	117.26	278,973.27	362,665.25
VOLUMEN EXCAVACIÓN	18,988.00	30.88	586,349.44	762,254.27
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	5,274.50	117.26	618,487.87	804,034.23
TOTAL-2				1,928,953.75
LAGUNA MADURACIÓN-1				
VOLUMEN BORDOS	1,032.10	117.26	121,024.05	157,331.26
VOLUMEN EXCAVACIÓN	3,676.23	30.88	113,521.98	147,578.58
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	1,225.41	117.26	143,691.58	186,799.05
TOTAL-3				491,708.89
LAGUNA MADURACIÓN-2				
VOLUMEN BORDOS	728.50	117.26	85,423.91	111,051.08
VOLUMEN EXCAVACIÓN	1,044.52	30.88	32,254.78	41,931.21
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	348.18	117.26	40,827.00	53,075.10
TOTAL-4				206,057.39
LAGUNA MADURACIÓN-3				
VOLUMEN BORDOS	652.68	117.26	76,533.26	99,493.23
VOLUMEN EXCAVACIÓN	1,027.11	30.88	31,717.16	41,232.30
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	342.37	117.26	40,146.31	52,190.20
TOTAL-5				192,915.74
LAGUNA MADURACIÓN-4				

VOLUMEN BORDOS	723.00	117.26	84,778.98	110,212.67
VOLUMEN EXCAVACIÓN	1,017.88	30.88	31,432.13	40,861.77
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	339.30	117.26	39,785.73	51,721.45
TOTAL-6				202,795.90
GRAN TOTAL				3,186,184.31
ÁREA NETA DE PROCESO DE LOS 2 MÓDULOS DE 6 LPS			30,897 m²	
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN TOTAL PARA LOS 2 MÓDULOS DE 6 LPS			67,974 m²	

Nota: El costo total de la planta considera costo del terreno más el costo de construcción, no se contempla el costo del cárcamo de bombeo y su equipamiento ya que es común a los tres sistemas de tratamiento y no altera el resultado de este análisis.

Como se puede observar, en el cuadro se presentan diferentes parámetros, primero se encuentran los volúmenes para cada laguna en m³, luego está lo que cuesta (\$/m³), teniendo después el subtotal con la mano de obra. Al final del cuadro se observan dos variables importantes. Primero el costo total de construcción de la planta que es de \$3,186 184.31. La siguiente variable es el área total que se requiere para construir el sistema Lagunar, el cual es de 67,974 m² cerca de las 7 hectáreas de superficie.

CUADRO 2: COSTO DE LA PLANTA LODOS ACTIVADOS

CONCEPTO	CANT.	PRECIO	TOTAL
PLANTA (incluye: soplador, redes de aireación, equipo de control, desnatadores, sistema de retorno de lodos, equipo de dosificación de cloro, equipo hidráulico y neumático, todo lo necesario para su correcta instalación).	1	\$2,71,298.66	\$ 2,871,298.66
EQUIPO PARA PRETRATAMIENTO DE LA PLANTA	1	\$190,437.90	\$ 190,437.90
OBRA CIVIL DE PLANTA Incluye: barandales y escaleras.	1	\$1,501,408.30	\$ 1,501,408.30
OBRA CIVIL CARCAMO CON PRETRATAMIENTO A una profundidad máxima de 2 metros.	1	\$104,764.80	\$104,764.90
LECHO DE SECADO DE LODOS	1	\$103,064.90	\$103,064.90
		TOTAL	\$ 4,770,974.56

Lo que presenta este cuadro, primeramente el concepto, es decir, todo lo que va hacer posible la construcción de la planta, al mismo tiempo se presentan las cantidades y el precio de mercado. En síntesis en el cuadro se aprecia que el costo total de construcción de la planta es de \$4,770,974.56.

CUADRO 3: COSTO DE UNA PLANTA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

CALCULO DEL COSTO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES PARA 1 MODULO DE 6 LPS				
BORDOS CON UNA PENDIENTE DE 2:1				
LAGUNA ANAEROBIA	M3	\$/M3	SUBTOTAL, \$	CON MANO DE OBRA (30%)
VOLUMEN BORDOS	334.80	117.26	39,258.65	51,036.24
VOLUMEN EXCAVACIÓN	1,751.00	31.87	55,804.37	72,545.68
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	194.61	117.26	22,819.38	29,665.20
TOTAL-1				153,247.12
LAGUNA FACULTATIVA				
VOLUMEN BORDOS	1,903.28	117.26	223,178.61	290,132.20
VOLUMEN EXCAVACIÓN	18,988.00	31.87	605,147.56	786,691.83
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	5,274.50	117.26	618,487.87	804,034.23
TOTAL-2				1,880,858.26
LAGUNA DE HUMEDALES				
VOLUMEN BORDOS	1,572.16	117.26	184,351.48	239,656.93
VOLUMEN EXCAVACIÓN	7,965.40	31.87	253,857.23	330,014.40
VOLUMEN CORTE Y COMPACTADO FONDO	3,620.64	117.26	424,555.70	551,922.41
TOTAL-3				1,121,593.73
GRAN TOTAL				3,155,699.11
ÁREA NETA PARA EL PROCESO, m ²				18,179.48
ÁREA DE CONSTRUCCION PARA 2 MÓDULOS DE 6 LPS, m ²				39,994.86

Como se puede ver, en este cuadro se presentan diferentes parámetros, primero se encuentran los volúmenes para cada laguna en m³, luego está lo que cuesta (\$/m³), teniendo después el subtotal con la mano de obra. Al final del cuadro se observan dos variables importantes. Primero el costo total de construcción de la planta que es de \$3,155,699.11. La siguiente variable es el área total que se requiere para construir el Humedal, el cual es de 58,174.34 m².

CUADRO 4: COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TRES SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA CAPACIDAD DE 12 LPS

CONCEPTO	PTAR LODOS ACTIVADOS, \$/MES	PTAR LAGUNAR, \$/MES	PTAR HUMEDALES, \$/MES
CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA	36500	10950	10950
SALARIOS DE PERSONAL	12000	6000	6000
MANTENIMIENTO:	5000	5000	5000
REACTIVOS	6843.75	0	0
GASTOS DE ADMINISTRACIÓN	2000	1000	1000
DESALOJO DE LODOS	3650	6000	6000
SUBTOTAL, \$/MES	65993.75	28950	28950
16% IVA	10559.00	4632.00	4632.00
TOTAL	76552.75	33582.00	33582.00
FLUJO AGUA POR MES	31536.00	31536.00	31536.00
COSTO DE OPERACIÓN, \$/m³	2.43	1.06	1.06

En este cuadro se desglosa el costo de operación y mantenimiento por mes de los tratamientos, esto es después de la construcción y puesta en marcha. En resumen se puede ver que el costo de operación más bajo por m³, lo tienen los Humedales y el sistema Lagunar, siendo más caro los Lodos Activados.

CUADRO 5: COSTOS TOTALES

TIPO DE TECNOLOGIA	CAPACIDAD	AREA REQUERIDA (m ²)	COSTO /m ² DEL TERRENO	COSTO DEL TERRENO \$	COSTO DE CONSTRUCCION \$	COSTO TOTAL DE LA PLANTA
HUMEDALES SUBSUPERFICIAL	12 L/S	65,876	400	26,350,560.00	7,321,221.93	33,671,781.93
SISTEMA LAGUNAR	12 L/S	67,974	400	27,189,600.00	7,074,879.41	34,264,479.41
LODOS ACTIVADOS	12 L/S	1,112.8	400	445,120.00	11,068,660.98	11,513,780.98

En este cuadro observamos los costos totales de los tres sistemas de tratamientos, se puede notar que el costo del terreno es lo que representa la mayor inversión en el caso de los Humedales y las Lagunas, porque el área que necesitan para construirse es bastante grande, son casi las 7 hectáreas en cada una de las dos, en cambio el sistema por Lodos Activados solo necesita de una hectárea. En cuanto al costo de construcción es más caro el sistema por Lodos Activados, en resumen, este cuadro nos indica que el costo más alto lo tiene el sistema Lagunar, seguido por poco margen los Humedales, y por último los Lodos Activados.

CUADRO 6: CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO

	LODOS ACTIVADOS	LAGUNAS EST.	HUMEDALES
Inversión Inicial	\$11,513,780.98	\$34,581,547.59	\$33,671,781.93
AÑOS	FLUJOS DE EFECTIVO NEGATIVOS		
1	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
2	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
3	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
4	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
5	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
6	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
7	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
8	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
9	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
10	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
11	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
12	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
13	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
14	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
15	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
16	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
17	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
18	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
19	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
20	-\$919,589.76	-\$401,137.92	-\$401,137.92
VPN	-\$19,342,767.00	-\$37,996,660.83	-\$37,086,895.17
VPN	-\$19,342,767.00	-\$37,996,660.83	-\$37,086,895.17

En el cuadro se observa, primeramente los años en los que se calculó en VPN, los cuales son 20 años, después se encuentra la inversión inicial de cada uno de los tratamientos, en lo que se puede ver que los Lodos Activados son los más económicos, después las Lagunas de Estabilización y por último los Humedales Artificiales, solo tomando en cuenta la inversión inicial. En cuanto a los flujos de efectivo, todos son negativos porque solo son egresos, no hay ingresos. Después de calcular el VPN, los Lodos Activados siguen siendo los más económicos al término de 20 años. Pero es importante aclarar que estos cálculos son con el costo del terreno, porque en el caso de los Humedales y Lagunas, sino se contemplara el costo del terreno, su costo total disminuiría hasta en un 80 % aproximadamente.

CONCLUSIONES

El tratamiento por lodos activados es el más utilizado en todo el mundo, debido a su eficiencia de remoción de contaminantes.

Analizando la tabla de costos totales, de acuerdo al costo de construcción, el sistema lagunar y los humedales son los más económicos, pero agregando el costo del terreno se observa que los dos primeros sistemas aumentan demasiado su costo, quedando más factible los lodos activados, debido a que ocupan muy poca extensión de terreno.

Analizando la tabla del costo de operación de las plantas, se nota que el tratamiento por lodos activados resulta un poco más elevado que los otros dos sistemas.

Como conclusión final, de acuerdo a la tabla de Cálculo del Valor Presente Neto a 20 años, se observa que el tratamiento por Lodos Activados es mejor en términos de costos, ya que es el más bajo, por lo que en términos de comparación, de los tres sistemas de tratamiento, resulta mejor los lodos activados, por ser el más factible en términos económicos.

REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua.** (2007). Diseño de Lagunas de Estabilización. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (www.cna.gob.mx).
- Comisión Nacional del Agua.** (2007). Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (www.cna.gob.mx).
- Comisión Nacional del Agua.** En línea: <http://www.conagua.gob.mx/>
- EPA.** (1988). Design Manual, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. (U. S. Environmental Protection Agency).
- Ley de Aguas Nacionales.** (2012). Disponible en la página web: http://www.normateca.gob.mx/Archivos/66_D_3176_11-06-2012.pdf
- Montiel P.** (2014). Humedal Artificial. Tesis de Ingeniería. Programa de Ingeniero Civil. UNAM. México, D.F., 2014.
- Osnaya M.** (2012). Propuesta de Diseño de un Humedal Artificial para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Tesis de Licenciatura. Programa de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.
- Samaniego L.** (2011). Remoción de Contaminantes Específicos en Ecosistemas Construidos. Tesis Doctorado. UANL. Escobedo, N.L., México.
- Silva J.** (2004). Evaluación y Rediseño del Sistema de Lagunas de Estabilización de la Universidad de Piura. Tesis de Ingeniería. Programa de Ingeniero Civil. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Tejeda J. C.** (2010). Diseño de un Humedal para la Remoción de CD, As y CR con Plantas de *Typha Latifolia* (Espadaña). Tesis de Maestría. Programa de Maestría en Ciencias Ambientales. UA de SLP. San Luis Potosí, México.
- Vidales et. al.** (2010). Pantanos Construidos para Tratamiento de Agua Residual Municipal. Consulta: 22 de Septiembre de 2015. Disponible en: (http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/60032010_PANTANOS_CONSTRUIDOS_TRATAM_AGUA_RESIDUAL_MPAL.pdf)
- Borrero J.** (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final (Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental).

Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña.
Barcelona.

Consulta: Valor Presente Neto y Otros Criterios de Inversión. 16 Noviembre
2015. Disponible en:
<http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FundamentosFinanzasC/09.pdf>

Consulta: Técnicas de Evaluación de la Inversión en Activos no Circulantes: 16
Noviembre 2015. Disponible en:
http://www.franciscojaviercruzariza.com/attachments/File/VPN_y_TIR.pdf

ANEXOS

Memoria de cálculo para los Humedales Artificiales.

Datos para el diseño del humedal.

PARAMETRO	VALOR	REFERENCIA
C ₀ (DBO) mg/l	473	CEAS
C _e (DBO) mg/l	30	NOM-001-SEMARNAT-1996
Caudal (Q), m ³ /día	12	CEAS
Porosidad (n)	0.35	Crites y Tchobanoglous. 1998.
Profundidad (h), m.	0.6	EPA
°T (°C)	17.5	CEAS
K _s (m ³ m ² d)	9750.4	Crites y Tchobanoglous. 1998.
Pendiente (%)	1	EPA

Procedimiento

Constante de temperatura

$$K_T = K_{20} (1.06)^{T-20}$$

$$K_T = K_{20} (1.06)^{17.5-20}$$

$$K_T = 1.104d^{-1} (1.06)^{-2.5}$$

$$K_T = 1.104d^{-1} (0.86) = \boxed{K_T = 0.94 d^{-1}}$$

Calcular el área superficial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_T (h)(n)} =$$

$$A_s = \frac{(1036.8 m^3/día)(\ln 473mg/L - \ln 30mg/L)}{(0.94 d^{-1})(0.6m)(0.35)} =$$

$$A_s = \frac{(2859.38 m^3/día)}{(0.1974 m/día)} = \boxed{14485.20m^2}$$

Calcular el tiempo de retención hidráulica

$$t = \frac{As h n}{Q} = \frac{(14485.20m^2)(0.6)(0.35)}{(1036.8m^3/d)}$$

$$t = \frac{3041.89m^3}{(1036.8m^3/d)} = \boxed{2.93 \text{ días}}$$

Se calcula el ancho de la celda

$$W = \frac{1}{h} \left[\frac{QAs}{m Ks} \right]^{0.5} = \frac{1}{0.6m} \left[\frac{(1036.8m^3/d)(14485.20m^2)}{(0.01)(9750.4m^3/m^2/d)} \right]^{0.5}$$

$$W = \frac{1}{0.6m} \left[\frac{15018255.36}{97.504} \right]^{0.5} = \frac{1}{0.6m} (392.46) = \boxed{W = 654.1m}$$

El largo de la celda

$$L = \frac{As}{W} = \frac{14485.20m^2}{654.1m} = L = 22.14m$$

Calculo del gradiente hidráulico

$$S = \frac{m h}{L} = \frac{(0.01)(0.6m)}{22.14m} = \frac{0.006}{22.14} = S = 2.71 \times 10^{-04}m/m$$

Calculo de área transversal

Despejando Ac de la ecuación:

$$Ac = \frac{Q}{KsS} = \frac{(1036.8m^3/d)}{(9750.4m^3/m^2/d)(2.71 \times 10^{-04}m/m)}$$

$$\boxed{Ac = 392.72m^2}$$

Área transversal

$$A_c = Wh = (654.1\text{m})(0.6\text{m})$$

$$A_c = 392.46\text{m}^2$$

Conociendo los valores Largo- Ancho decimos la relación que existe entre estos valores:

$$L:W = \frac{22.4\text{m}}{654.1\text{m}} = 0.034$$

$$L:W = 0.034:1$$

Ahora se realiza el cálculo de los valores de largo, ancho y área transversal para una celda con una relación L:W de 3:1 (recomendado para humedales con profundidad de 0.6m)

$$L=3W$$

$$A_s=LW$$

$$\text{Por lo tanto: } A_s=(3W)W$$

$$A_s=3W^2$$

$$W = \frac{\sqrt{A_s}}{3} = \frac{\sqrt{14485.20\text{m}^2}}{3} = \sqrt{4828.4} = 69.48\text{m}$$

$$W=69.48\text{m}$$

$$\text{Por lo tanto: } L=3W=3(69.48\text{m})$$

$$L=208.44\text{m}$$

Área transversal

$$A_c=W h = (69.48\text{m}) (0.6\text{m})$$

$$A_c=41.68\text{m}^2$$

En este caso se realiza el cálculo de las dimensiones del humedal con dos celdas paralelas. Se toma la relación L:W de 3:1

Primero dividimos el área superficial requerida de 14485.20m^2 entre las dos celdas, por lo tanto a cada celda le corresponde un área de 7242.6m^2 . Se realiza el cálculo de los valores con esta área superficial. Los resultados aplican para las dos celdas.

$$L=3W \quad A_s=LW \quad \text{Por lo tanto:}$$

$$A_s = (3W) W \quad A_s=3W^2$$

$$W = \frac{\sqrt{A_s}}{3} = \frac{\sqrt{7242\text{m}^2}}{3} = \sqrt{2414\text{m}} = 49.13\text{m} \quad \boxed{W = 49.13\text{m}}$$

$$\text{Por lo tanto: } L = 3 (49.13\text{m}) \quad \boxed{L=147.39\text{m}}$$

Sumamos el área transversal:

$$A_c = Wh$$

$$A_c = (49.13\text{m}) (0.6\text{m}) = 29.47\text{m}^2$$

$$\boxed{A_c = 29.47\text{m}^2}$$

Tomando en cuenta las ventajas de cada uno de los diseños representados se propone que sea utilizado el sistema de humedal con dos celdas en paralelo y con una relación L:W de 3:1

$$\text{Celdas: } 2 \quad \text{Ancho: } 49.13\text{m} \quad \text{área transversal: } 29.47\text{m}^2$$

$$\text{Largo: } 147.39\text{m} \quad \text{altura: } 0.6\text{m}$$