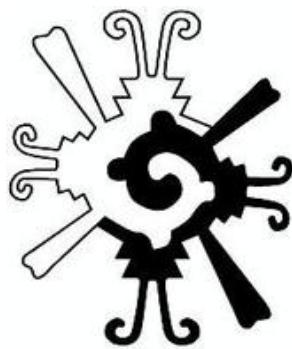


ESTUDIO DE SUSTENTABILIDAD PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TIPO
HUMEDAL EN EL EDIFICIO E DE LA
UNIVERSIDAD DEL CARIBE

21 de noviembre de 2011



**Universidad
del Caribe**

2000

CANCUN, QUINTANA ROO, MEXICO

CONOCIMIENTO Y CULTURA PARA EL DESARROLLO HUMANO

**ESTUDIO DE SUSTENTABILIDAD PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TIPO
HUMEDAL EN EL EDIFICIO E DE LA UNIVERSIDAD
DEL CARIBE**

GOROCICA PASTRANA DIANA..... 070300622

MENDÉZ AVILES JORGE..... 070300150

VERDE HERNÁNDEZ JOSE..... 070300171

PROYECTO TERMINAL

Índice general

1. MARCO CONCEPTUAL	11
1.1. INTRODUCCIÓN	11
1.2. SUSTENTABILIDAD	11
1.2.1. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA	11
1.2.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SUS PROCESOS	12
1.3. HUMEDALES	12
2. MARCO TEORICO	13
2.1. INTRODUCCIÓN	13
2.2. ANTECEDENTES DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO	13
2.2.1. HISTORIA DE SUSTENTABILIDAD	13
2.2.2. HISTORIA DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO	14
2.2.3. INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE	14
2.2.4. SITUACIÓN ACTUAL:DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO	15
2.2.5. LA SUSTENTABILIDAD COMO UNA ESTRATEGIA PARA LAS INSTITUCIONES	15
2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: HUMEDALES	16
2.3.1. ANTECEDENTES DEL HUMEDAL	16
2.3.2. HUMEDALES	16
2.3.3. HUMEDALES NATURALES	16
2.3.4. HUMEDALES ARTIFICIALES (HA)	16
2.3.5. FUNCIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	16
2.4. ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES	17
2.4.1. HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL (FWS)	17
2.4.2. HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)	17
2.4.3. TIPOS DE SISTEMAS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	18
2.5. IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES EN LA INSTITUCIÓN	18
2.5.1. IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO	18
2.5.2. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	19
2.5.3. CARACTERISTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	20
2.5.4. HUMEDALES ARTIFICIALES EN LAS INSTITUCIONES: HOTEL GRAN OASIS RIVIERA MAYA (GORM)	22
2.6. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	23

2.6.1. UBICACIÓN IDEAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	23
2.6.2. IMPERMEABILIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	23
2.6.3. SUBSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACIÓN	24
2.6.4. TIPOS DE VEGETACIÓN PARA UN HUMEDAL ARTIFICIAL	24
2.6.5. MICROORGANISMOS	25
2.6.6. PLANTACIÓN DE VEGETACIÓN	26
2.6.7. HIDRÁULICA	26
3. DESARROLLO	27
3.1. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA VIABILIDAD DEL PROYECTO	27
3.2. ESTUDIO TÉCNICO	28
3.2.1. RECURSOS DE AGUA Y SUELO	28
3.2.1.1. DISPONIBILIDAD DE TERRENO	28
3.2.1.2. DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO	29
3.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
3.2.2.1. POLÍTICAS DE CONAGUA RESPECTO AL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES	29
3.2.2.2. REQUERIMIENTOS DE LA CALIDAD SANITARIA Y AMBIENTAL DEL EFLUENTE	29
3.2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	30
3.2.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES YA EXISTENTES	31
3.2.5. ESTIMACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA	33
3.2.5.1. TRAMPA DE GRASAS	33
3.2.5.2. REGISTRO CONVENCIONAL	34
3.2.5.3. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN	34
3.2.5.4. DIMENSIONES DEL HUMEDAL	36
3.2.5.5. REGISTRO DE AGUA	39
3.2.6. LOCALIZACIÓN FÍSICA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES .	40
3.2.7. PROPUESTA PARA EL USO DE PRODUCTOS BIODEGRADABLES .	42
3.2.8. ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y CONSIDERACIONES DEL DISEÑO	42
3.2.8.1. LIMITACIONES POTENCIALES	43
3.2.9. MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA PLANTA	43
3.2.9.1. ADMINISTRACIÓN DE LA PLANTA	44
3.3. ESTUDIO ECONÓMICO	44
3.3.1. CAPACIDADES DE INVERSIÓN, ENDEUDAMIENTO Y OPERACIÓN DE LOS RESPONSABLES	45
3.3.2. INDICADORES	45
3.3.2.1. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	45
3.3.2.2. BENEFICIO ECONÓMICO EN EL AHORRO DEL AGUA	45
3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD: TASA MÍNIMA DE RENDIMIENTO (TMAR)	45
3.3.3.1. RENTABILIDAD ECONÓMICA	46
3.3.3.2. RENTABILIDAD FINANCIERA	46

3.3.3.3. VALOR PRESENTE NETO (VPN)	47
3.3.4. MULTAS, CLAUSURAS Y PARO PARCIAL DE LA PRODUCCIÓN POR CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	48
3.3.5. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN MATERIALES	48
3.4. ESTUDIO AMBIENTAL	50
3.4.1. CONTEXTO LEGAL	51
3.4.2. LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD APLICABLE	52
3.4.2.1. LEY GENERAL DEL QUILIBRIO ECOLÓGICO DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE	52
3.4.2.2. CONDICIONES PARA EL TRABAJO Y REÚSO DEL AGUA	52
3.4.2.3. MULTAS APLICADAS POR EL INDEBIDO TRATAMIENTO Y REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES	52
3.4.3. TRAMITES OBLIGATORIOS	52
3.4.4. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA SU REÚSO	53
3.4.4.1. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL	53
3.4.4.2. NORMAS MEXICANAS APLICABLES	54
3.4.5. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	54
3.4.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE IMPACTOS Y ASIGNACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS SEGÚN ACTIVIDADES BÁSICAS	58
3.4.7. MATRICES DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS	61
3.5. ESTUDIO SOCIAL	63
3.5.1. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS INVOLUCRADOS	63
3.5.2. CONOCIMIENTOS DE LOS INVOLUCRADOS ACERCA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	63
3.5.3. NIVEL DE ACEPTACIÓN POR PARTE DE LOS INVOLUCRADOS	64
3.5.4. ASPECTOS INSTITUCIONALES	64
3.5.4.1. TENENCIA DE LA TIERRA	64
3.5.5. ASPECTOS HUMANOS	65
3.5.5.1. EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DE VIDA DE LAS PERSONAS	65
3.5.5.2. SALUD	65
4. RESULTADOS	67
4.1. RESULTADO: TRAMPA DE GRASAS	68
4.2. RESULTADO: REGISTRO CONVENCIONAL	69
4.3. RESULTADO: TANQUE DE SEDIMENTACIÓN	70
4.4. RESULTADO: HUMEDAL	71
4.5. RESULTADO: REGISTRO DE AGUA	73
4.6. RESULTADO: DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA	74
4.7. RESULTADO: UBICACIÓN DEL SISTEMA	76
4.8. RESULTADO: ESTUDIO ECONÓMICO	77
4.9. RESULTADOS: ESTUDIO AMBIENTAL	77

RESUMEN

En este trabajo de investigación se plantea la necesidad que tiene la universidad para construir una planta de tratamiento debido a la poca capacidad con la que se cuenta hoy en día en el centro de captación aguas para los edificios ya existente, tomando como antecedentes los gastos volumétricos actuales además de la información proporcionada por el Arquitecto Carlos Silva Suarez, notamos que se precisa el manejo de las aguas del nuevo edificio mediante la construcción de otro sistema alterno al ya existente.

Se describe un estudio que contempla la elección de una planta de tratamiento tipo humedal como propuesta para el manejo de las aguas residuales resultantes del edificio E para darles un adecuado tratamiento, el estudio de sustentabilidad consiste en evaluar la viabilidad de tres aspectos importantes: El ambiental consiste en dar a conocer a los interesados sobre la normatividad que se debe de cumplir así como los trámites que se deben de realizar ante las autoridades competentes así como aplicar una metodología para evaluar el impacto ambiental, en el económico, se calcula el costo total estimado de los materiales principales utilizados en la construcción de la planta, para esto se elaboró un estudio técnico, en el cual se calculó el dimensionamiento de la planta y la elección de los materiales adecuados y disponibles en la región así como la cuantificación de los mismos y finalmente en el social, se evaluó el apego que tiene el proyecto con la sociedad y los beneficios que representan para esta. El proyecto pretende ser una iniciativa que sirva de base para su futura implementación.

Durante el desarrollo de este estudio se visitó a una de las plantas de tratamiento tipo humedal pioneras en de nuestro estado como referencia para el desarrollo de este estudio, así mismo con el asesoramiento y apoyo de profesores expertos se desarrolló la metodología para hallar los resultados para cada uno de los estudios con el objetivo de evaluar la sustentabilidad de la planta en estudio.

ABSTRACT

This investigation describes the university's need to build a residual wastewater treatment plant due to the current lack of capacity in the wastewater treatment plant used for the existing buildings. Taking into account the current volumetric flow rate in addition to the information given by Architect Carlos Silva Suarez, it is necessary to handle residual wastewaters from the new building by constructing an alternative system in addition to the existing system.

We describe a study that includes the choice of a wetland type wastewater treatment plant as a proposal for the management of wastewater from Building E to give an adequate treatment, the study of sustainability is to assess the feasibility of three important aspects: environmental is on to inform stakeholders on the regulations that must meet and the procedures that must be carried out before the competent authorities as well as implement a methodology to assess the environmental impact, economically, calculate the total estimated cost of the main materials used in construction of the plant, so it developed a technical study, which was calculated plantsizing and selection of appropriate materials and available in the region and to quantify them and finally socially, we evaluated the attachment that has the project to society and the benefits they represent to this. The project aims to be an initiative as a basis for future implementation.

During the development of this study, a visit was made to a pioneer wetland residual wastewater treatment plant within the same state that will serve as a reference point for the investigation. The visit, along with the help of expert professors, created the necessary information to prove the sustainability of this plant.

INTRODUCCIÓN

Dentro del presente trabajo se maneja una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales dentro de la Universidad del Caribe ya que con el actual crecimiento de esta, se detecto un problema con el volumen de agua utilizada en la institución por parte de la comunidad estudiantil como la académica, esto debido a que el volumen de aguas descargadas está al límite de la capacidad soportada por la planta y el registro municipal, ya que solo se cuenta con un registro para la captación de aguas residuales y grises generadas por la universidad mediante el uso sanitario, lava manos y riego de jardines. Si a estas descargas se le suman las descargas de los sanitarios, cocinas y laboratorios del Edificio E, el volumen de descargas será más de lo que el registro pueda recaudar, para resolver esta problemática se pretende implementar una planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal, contribuyendo así al cuidado del medio ambiente y ayudando a crear una cultura responsable para con el mismo.

Este tipo de plantas se vienen implementando en comunidades pequeñas desde ya hace varios años y hoy en día se han implementado ya en varios organismos privados y públicos.

El propósito del estudio es analizar la sustentabilidad sobre la construcción de una planta tipo humedal artificial de tratamiento de agua residual en el Edificio E de la Universidad del Caribe para así poder contribuir en la toma de decisiones sobre su implantación, con lo cual se pretende demostrar que dicha planta refleja un ahorro económico en el consumo de agua potable, así como un cuidado al medio ambiente.

La metodología utilizada es la investigación bibliográfica sobre los antecedentes existentes sobre este tipo de sistemas, visitas para investigación de campo para referencia del estudio y realización de los estudios pertinentes para demostrar una sustentabilidad del sistema.

Aquí se podrá encontrar la información obtenida durante el desarrollo del estudio, con una estructura organizada para su mejor entendimiento, comenzando con el título del proyecto, se presenta un breve resumen de todo lo que implico el estudio, además del objetivo pretendido, antecedentes, la justificación, conceptos generales para que sea más comprensible la lectura, posteriormente el desarrollo de los estudios, el estudio ambiental, se eligió como punto de partida de los tres porque hoy en día los proyectos que buscan la sustentabilidad y apego al ambiente tienen mucho apoyo debido a que actualmente han surgido proyectos que le dan mayor peso a la parte económica y se olvidan por completo de armonizar con el entorno natural, posteriormente el estudio social porque también es importante crear un entorno en donde mejore la calidad de vida para la sociedad comprometiéndola y haciéndola participe en el proyecto, se considera que si todos aportamos un esfuerzo al proyecto, se lograrían resultados por encima de los esperados.

En el estudio económico se plantea una estimación de costos totales para la construcción de la planta en estudio tomando como base los precios que nos ofrece el mercado y seleccionando los mejores precios considerando además que de seleccionen productos de alta calidad, se propone en el estudio técnico las dimensiones, modelo, materiales y proceso que sirvieron como base para estimar costos y por último los resultados alcanzados y propuestas generadas, así como los anexos y las bibliografías consultadas.

JUSTIFICACIÓN

A partir del surgimiento de la Universidad del Caribe, se ha buscado la enseñanza de la cultura sustentable por parte de la institución hacia los estudiantes y la sociedad, mediante proyectos e investigaciones que incidan directamente al cuidado del medio ambiente y así poder satisfacer el crecimiento estudiantil y al mismo tiempo colaborar con el cuidado del medio ambiente mediante la implementación de dichos proyectos. Además, la Universidad del Caribe, tiene un comité de gestión ambiental que está en el proceso de acreditación con la SECADESU y la SEMARNAT.

Es por eso que notamos una interesante área de oportunidad que plantearemos a continuación:

Ante la problemática actual acerca de la escasez del agua, el gobierno de nuestro estado ha optado por una medida regulatoria para medir el cuidado del agua en las empresas a través del cobro de un excedente por las descargas de las aguas residuales que la industria genere tal como lo refiere la Ley de Cuotas y tarifas para los Servicios Pùblicos de Agua Potable y Alcantarillado, Tratamiento Y Disposición de Aguas Residuales del Estado De Quintana Roo.

Nuestra Universidad está considerada como de uso comercial, por el volumen de agua que se opera por día, entra dentro del rango de descarga de 0 a $10m^3$. Al darle un fin adecuado a la descarga, reduciríamos los costos que se pudieran generar, debido a que se minimizaría el volumen de las descargas, reaprovechando el recurso hídrico gracias a la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales y por otro lado evitar la saturación de las plantas de tratamiento del municipio, ya que se sabe que el registro municipal que atiende las demandas de la universidad está al límite de su capacidad, además el problema existente en el sistema de drenaje que posee la universidad es otro problema que se puede reducir, debido a que el drenaje de los Edificios B y C descargan a un registro privado de la escuela y de ahí se descarga al registro publico, esto debido a que la distancia es larga y no es posible realizar las descargas de estos edificios directamente al registro municipal y por lo tanto no es posible ni conveniente descargar las aguas del Edificio E directamente al registro municipal, esta información se obtuvo gracias a los datos proporcionados por el Arquitecto Carlos Silva Suarez, encargado de la infraestructura de la institución.

La planta de tratamiento que elegimos para combatir este problema de descargas, es de tipo humedal; se eligió este tipo de planta debido a que mediante plantas acuáticas y procesos naturales podremos tratar el agua residual del Edificio E de la institución y así poder reutilizar este producto para riego, lo cual no sólo representa un beneficio económico, sino que además un beneficio ecológico porque se aprovecharía este recurso vital que hoy en día, ya comienza escasear, otro beneficio que nos representaría, es el social, porque seríamos ejemplo para la sociedad, muchas empresas y comunidades podrían tomar esta idea para cuidar el agua y hacer conciencia sobre su importancia.

OBJETIVO

Realizar un análisis de sustentabilidad sobre la construcción de una planta tipo humedal artificial de tratamiento de agua residual en el Edificio E de la Universidad del Caribe para contribuir en la toma de decisiones sobre su implantación.

SIMBOLOGÍA Y ABREVIACIONES

CECADESU Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable

CONABI Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad

CONAGUA Comisión Nacional del Agua

DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO Demanda Química de Oxígeno

FSS Humedal de flujo subsuperficial

FWS Humedal de flujo superficial o libre

GORM Gran Oasis Riviera Maya

N Nitrógeno

NOM Norma Oficial Mexicana

P Fósforo

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SST Sólidos totales en suspensión

TRH Tiempo hidráulico de retención

Capítulo 1

MARCO CONCEPTUAL

1.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las variables para la comprensión de todas las partes del estudio que se está plasmando a continuación, además se define el sistema a estudiar, algunos de sus componentes y su funcionamiento.

1.2. SUSTENTABILIDAD

La sustentabilidad es un término muy usado hoy en día, el cual es definido o logrado cuando se satisfacen las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para que satisfagan sus propias necesidades.

Este tipo de desarrollo se generó debido al desarrollo y crecimiento de la sociedad; desde el punto de vista de los autores Sans Fronfría y Pablo Ribas que comentan en su libro ?ingeniería ambiental: contaminación y tratamiento?, que el gran desarrollo de las sociedades industrializadas en los últimos 20 años ha llevado a establecer una sociedad más consumista, lo que ha implicado una mayor necesidad de ofrecer por parte de diferentes industrias, nuevos productos manufacturados; esto ha sido la causa principal de la aparición de residuos de diferentes tipos, lo que ha llevado a una contaminación tanto del suelo, como del agua y aire, y dichos productos deben ser tratados con el fin de eliminarlos o bien para ser reutilizables. Este tratamiento puede llevar consigo la degradación paulatina del medio ambiente con la problemática que esto representa para las futuras generaciones (San Fronfia Rramon, 1999).

1.2.1. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Como se acaba de mencionar, la contaminación puede abarcar tanto la tierra, el aire y el agua, esta última es la más importante dentro de este estudio, el agua se puede contaminar de varias formas y varias razones, como los contaminantes que se desechan en las casas habitaciones, comercios e incluso en las industrias, todas estas aguas contaminadas se denominan aguas residuales y suelen clasificarse como aguas residuales municipales o aguas residuales industriales.

También se pueden clasificar en base al contenido de contaminantes que esta porta, entre estas se encuentran, las provenientes de inodoros, provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras y las provenientes de las industrias denominadas aguas negras.

Dentro de los contaminantes que poseen las aguas residuales están los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, el nitrógeno, fosforo, metales pesados, etc.

Existen procesos de tratamiento para estas aguas, estos procesos se combinan en una serie de unidades especialmente construidas para esto, y a todas estas unidades juntas realizando un proceso constituyen una planta de tratamiento de aguas residuales.

1.2.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SUS PROCESOS

Una planta de tratamiento de aguas residuales como se define es un conjunto de obras, instalaciones y procesos para el tratamiento de aguas residuales, esta consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. El objetivo de estas plantas es producir agua limpia (o efluente tratado), la cual se entiende como el agua que no debe contener substancias extrañas ni de origen biológico, orgánico, inorgánico o radioactivo en proporciones tales que la hagan peligrosa para la salud.

Estas plantas pueden clasificarse por varios tipos, entre los cuales entran los procesos físicos, químicos y biológicos, ya que tienen como finalidad eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del consumo humano. Entre los diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentran:

Sistemas de tratamiento biológico, estanque de lodos activos, tratamiento anaerobio y humedales artificiales; esta última planta es la estudiada en este documento, esta efectúa la purificación del agua de igual manera que lo hace la misma naturaleza, esta purificación involucra una serie de procesos bacterianos aerobios-anaerobios que suceden en el entorno de las raíces de las plantas. Esta planta es la más amigable desde el punto de vista ambiental.

Dentro de cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales existen procesos para eliminar los contaminantes, estos procesos se encuentran dentro de tres categorías, el tratamiento primario, el secundario y el tratamiento terciario.

1.3. HUMEDALES

Como se acaba de mencionar, existen diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales. De todas estas, en este estudio se está analizando a la planta de tratamiento tipo humedal, esta planta está basada en los humedales naturales, los cuales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una gran vegetación, que reúnen características biológicas, físicas y químicas, que les permite un elevado potencial de autodepuración, y a partir de estos sistemas se crearon los humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales, los humedales artificiales son sistemas pasivos de depuración construidos con lagunas poco profundas que contienen plantas propias de las zonas humedales y en los que los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos, además se caracterizan por su simplicidad de operación, un bajo o nulo consumo energético, una baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental y una buena integración al medio ambiente, a todo esto se suma que su funcionamiento es muy simple; primero los sólidos son eliminados por procesos mecánicos naturales, los sólidos se depositan en el fondo donde la materia orgánica es procesada por microbios y plantas, posteriormente la eliminación de contaminantes ocurre por procesos físicos (sedimentación y filtración), químicos (precipitación y adsorción) y biológicos (metabolismo bacteriano).

Capítulo 2

MARCO TEORICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirá la historia de la sustentabilidad y como la ideología de ser sustentable ha sido adoptado por las instituciones en México, por medio de humedales artificiales, las cuales son un sistema de tratamiento de agua residual de forma natural. Resaltaremos también las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para la implementación de esta planta ecológica y la toma de decisiones.

2.2. ANTECEDENTES DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO

2.2.1. HISTORIA DE SUSTENTABILIDAD

En la década de los 70s, varios sucesos realizados por el hombre hacia la tierra, la cual causo la extinción y muerte de muchos seres vivos, ocasiono movimientos de protesta de las sociedades de todo el mundo hacia el cuidado de los seres vivos y el medio ambiente. Por estos motivos la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1987 en el informe de Brundtland, desde la perspectiva de la prosperidad humana y ambiental, declara que la sustentabilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Pierre, 2007).

Con el fin de mantener los sistemas biológicos con el transcurso del tiempo, principalmente los recursos que pueden dejar de ser sostenibles como el agua, el suelo fértil y los ecosistemas ambientales. La puesta en práctica de la sustentabilidad contiene fundamentos ciertos de valores y principios éticos, esta presentada en la Carta de la Tierra (iniciada en la cumbre de Rio 1992 y concluida en el 2000), en la que se especifican los niveles de organización económica, social y ambiental, enfocado para los sectores de todo el mundo. La cual ponen en tela de juicio la escases de agua, resultado del uso excesivo y falta de conciencia por parte de la sociedad, áreas verdes como resultado de la tala excesiva de árboles, y ecosistemas que son el hábitat de muchos seres vivos, la explotación del suelo, debido a la creciente infraestructura de las grandes ciudades.

2.2.2. HISTORIA DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO

México cuenta desde 1988, con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, en la que el desarrollo sustentable se concibe como: el proceso evaluable mediante indicadores de carácter ambiental, político y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección al ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (Nebel y Wright, 1999, citados por CICEANA, 2008).

México adquiere el compromiso de adoptar medidas nacionales de sustentabilidad al formar parte del Acuerdo de Rio en 1992, del programa de acción para el desarrollo sustentable o Agenda 21. Esto incluyó el sumarse al compromiso para el desarrollo de indicadores, por medio de los cuales se puedan medir las políticas y estrategias de desarrollo sustentable de un país.

En abril de 1995 la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de las Naciones Unidas aprobó el programa de trabajo sobre indicadores de desarrollo sustentable 1995-2000, a instrumentarse en diferentes etapas. México se unió voluntariamente a este plan a partir de 1997, y en 1998 participó en un plan piloto, junto con 21 países del mundo entero, para desarrollar dichos indicadores.

2.2.3. INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Los indicadores propuestos por la Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas se diseñaron y agruparon de acuerdo con criterios temáticos que cubren lo expuesto en el documento 21. Documento generado en la cumbre de la Tierra celebrada en Rio de Janeiro en 1992. Estos indicadores se clasificaron en cuatro categorías: social, económico, ecológicos e institucional.

- En los aspectos sociales se trata de combatir la pobreza, creando empleos. La dinámica del crecimiento demográfico aumentando la sustentabilidad de la misma. Promoviendo la educación, junto con la concientización de la sociedad por medio de la capacitación, para la protección de la salud humana y el desarrollo de asentamientos humanos sustentables(Nebel y Wright, 1999, citados por CICEANA, 2008)
- En los aspectos económicos se basa en la cooperación internacional para mejorar el desarrollo sustentable en los países, y en sus políticas internas, además de mecanismos y recursos financieros y la transferencia de tecnología entre los países(Nebel y Wright, 1999, citados por CICEANA, 2008).
- En el aspecto ecológico se estableció la protección de los océanos y el cuidado del agua dulce, mantener un enfoque de planificación y administración de recursos del suelo, la promoción de la agricultura sustentable y desarrollo rural, se busca el combate a la deforestación para la conservación de la diversidad biológica, el manejo ambientalmente limpio de la biotecnología, protección de la atmósfera, manejo ambientalmente limpio de desechos sólidos y aspectos relacionados con aguas servidas, el manejo ambientalmente limpio de desechos peligrosos y el manejo seguro y ambientalmente limpio de desechos radiactivos(Nebel y Wright, 1999, citados por CICEANA, 2008).
- En los aspectos institucionales se integró el ambiente y su desarrollo en la toma de decisiones, tomando en cuenta los instrumentos y mecanismos legales para la selección de decisiones fortaleciendo su papel en los grupos principales(Nebel y Wright, 1999, citados por CICEANA, 2008)

Las empresas que sigan estos caminos serán más innovadoras, más productivas y más competitivas. Es el propio interés de los empresarios que se debe fomentar el eco eficiencia entre sus socios proveedores y clientes(Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable, 1996).

2.2.4. SITUACIÓN ACTUAL:DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO

Debido a estos fundamentos, para poder ser un país sustentable, se debe de mantener un equilibrio económico, social y ambiental, la cual es uno de los retos que enfrentan muchos países, en el caso de los países tercera mundistas. En el caso de México los esfuerzos de conservación de los recursos naturales y ecosistemas sueles verse obstaculizados por un círculo vicioso que incluye pobreza, agotamiento de los recursos naturales, deterioro ambiental y más pobreza (Plan Nacional de Desarrollo, 2007). Aunque aún es el momento de poner en práctica las medidas necesarias para que todos los proyectos, particularmente los de infraestructura y los del sector productivo, sean compatibles con la protección ambiental. México no cuenta con un poder económico demasiado fuerte, pero cuenta con muchos recursos naturales, la cual puede sacar provecho para poder estar en hegemonía con las políticas de sustentabilidad.

En algunas instituciones se empezaron a desarrollar mecanismos compatibles con la sustentabilidad, todo esto para cumplir con las normas Mexicanas de la SEMARNAT, especialmente en las zonas de desarrollo turístico. El cual consta de la protección del medio en el que se encuentra, el cuidado de la sociedad y el cumplimiento de regulación de las normas mexicanas, para poder convertirse o estar dentro de los rubros de una empresa socialmente responsable.

2.2.5. LA SUSTENTABILIDAD COMO UNA ESTRATEGIA PARA LAS INSTITUCIONES

El cuidado de los recursos no renovables se convirtieron en la estrategia de sustentabilidad de las empresas o instituciones, el principal recurso a cuidar es el agua, debido a los altos índices de contaminación que estos producen, ya que en las instituciones se producen un alto volumen de aguas residuales y para poder cumplir con las condiciones de una empresa socialmente responsable utilizan sistemas de tratamiento aguas residuales que estas producen. Estos procesos constan de pasar el agua residual por varios procesos de descontaminación hasta llegar a un índice de descontaminación para su reusó, el agua tratada se puede usar para el sistema de riego y para el uso de depuración en los baños.

Estos procesos de tratamiento de aguas residuales, consisten en procesos de sistemas primario, secundario y terciario para la descontaminación del efluente, estos sistemas son realizados por grandes tanques de procesamiento que cuentan con varias bombas hidrológicas, normalmente es muy caro su mantenimiento, ocupa mucho espacio y los tres sistemas se necesitan mutuamente. Aunque, son muy eficientes para el tratamiento de aguas residuales por lo que se utiliza en instituciones o empresas con un alto contenido de depuración.

2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: HUMEDALES

2.3.1. ANTECEDENTES DEL HUMEDAL

Se cree que los primeros humedales se utilizaron en 1992, en los Estados Unidos. Estudios sobre los humedales construidos para tratamiento de aguas residuales se iniciaron en la década de los 50s en el Instituto Max Planck en Alemania-USA, y fueron desarrollados en los años 70s y 80s. En los años 90s se vio un mayor incremento en el número de estos sistemas, como la aplicación se expandía no solo para tratamiento de agua residual, sino también para agua de tormenta, industria y residuos agrícolas. Los humedales habían sido usados a finales de los años 90s para disposición de aguas residuales, muchas descargas fueron a los humedales naturales (Llaga, 2006).

2.3.2. HUMEDALES

Definidas en el punto 1.2. Los humedales se pueden dividir en dos: Humedales Naturales (HN) y los Humedales Artificiales.

2.3.3. HUMEDALES NATURALES

Estos sistemas fueron por mucho tiempo utilizados como sistemas de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, en donde no hay muchos habitantes. Normalmente son conocidos como lagunajes, conocidas por su alta vegetación, y almacenamiento de agua, estos sistemas son muy lentos y por lo tanto deficientes. A lo largo del crecimiento demográfico estos sistemas no suelen usarse con frecuencia, ya que solo se estima para el tratamiento de depuración de una casa. Se requiere de un gran espacio para la implantación, se forman de manera natural debido a las inundaciones de lluvias.

2.3.4. HUMEDALES ARTIFICIALES (HA)

Actualmente se han diseñado nuevos procesos eficientes de tratamiento de aguas residuales de manera natural, menos costosa y con poco espacio. Estos procesos ecológicos de tratamiento de aguas residuales son conocidos como humedales artificiales, las cuales realizan un proceso de tratamiento por medio de plantas acuáticas (macrofitas) las cuales se alimentan por sus raíces de la materia orgánica del agua residual para su proceso de fotosíntesis.

2.3.5. FUNCIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Normalmente, un humedal artificial es ayudado por una unidad que proporciona el tratamiento primario de las aguas residuales. El tratamiento primario para las aguas residuales puede ser alcanzado por una variedad de tecnologías, aunque el más sencillo y más fácil de mantener es una poza de estabilización. El efluente de la poza puede ser tratado para alcanzar una calidad más alta por el humedal artificial, que quita contaminantes y bacterias (Setty, 2005).

En el tanque de estabilización o biofiltro, los sólidos son eliminados por procesos mecánicos naturales, los sólidos se depositan hasta el fondo. Una vez depositada la materia orgánica es procesada por microbios y plantas, lo cual previene la acumulación de materiales en el fondo del estanque. Posteriormente, como el agua fluye por el sustrato de grava en el humedal, la eliminación

de contaminantes ocurre por procesos físicos, procesos químicos y procesos biológicos (mencionados en el punto 1.3).

2.4. ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES

2.4.1. HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL (FWS)

Estos sistemas tienen mucha relación con el cuidado del medio ambiente ya que se puede decir que son pequeñas lagunas construidas. El agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de los micrófitos. En realidad este tipo de humedales se pueden entender como una modificación del Lagunaje convencional con menor profundidad (no más de 0,4 m) y con plantas. Consiste en un humedal artificial en su totalidad de flujo superficial, destaca por su mayor Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) que otorga una mayor recuperación. El flujo está en contacto con la superficie provocando una mejora de ecosistema existente con la aparición de nuevas especies que favorecen el funcionamiento del humedal (Emision, 1999).

Para el tratamiento de aguas residuales su proceso suele ser muy lento, estos sistemas suelen ser sistemas de gran tamaño con extensiones de varias e incluso hasta centenares de hectáreas. Además, en este tipo de proyectos, los objetivos de restauración y creación de nuevos ecosistemas en general tienen una gran importancia (Jesus, 1998).

2.4.2. HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SFS)

Por otra parte los humedales de flujo subsuperficial están constituidos por balsas generalmente construidas por excavación, llenas de un medio granular con suficiente conductividad hidráulica (grava) y plantadas con vegetales característicos de las zonas húmedas, como el carrizo o la espadaña. El agua circula a nivel subterráneo en contacto con el medio granular y las raíces y rizomas de los vegetales. Los contaminantes en los sistemas SFS con macrofitas (plantas acuáticas) son removidos por una variedad compleja de procesos biológicos, físicos y químicos, incluyendo sedimentación, filtración, adsorción en el suelo, degradación microbiológica, nitrificación y denitrificación, decaimiento de patógenos y metabolismos de las plantas. Las macrofitas remueven contaminantes por asimilación directa dentro de sus tejidos, además proveen superficie de contacto y un ambiente adecuado para que los microorganismos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones (Delgadillo, 2010).

Los humedales de flujo subsuperficial son instalaciones de menor tamaño y que en la mayoría de los casos se utilizan como sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en casas, viviendas aisladas y núcleos de más de 2000 habitantes (Jesus, 1998).

Como se explicó en el punto 2.2.4, estos sistemas pueden subir su eficiencia con respecto al efluente cuando es ayudado posteriormente por un sistema primario, lo cual es una de la mejor opción para el tratamiento ecológico de tratamiento de agua residual, ya sea en casas habitación o instituciones. Además que al igual que los sistemas FWS, contribuyen con el equilibrio del medio ambiente y salud pública.

2.4.3. TIPOS DE SISTEMAS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Entre los humedales de flujo subsuperficial (SFS) se encuentran las de tipo vertical y horizontal, la diferencia de estos tipos de sistemas SFS es la entrada y salida del efluente.

- En los sistemas SFS tipo horizontal por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrofitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso. La profundidad del lecho varía entre 0.45m a 1m y tiene una pendiente de entre 0.5 % a 1 %. El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50mm a 100mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, es entre 3mm a 32mm. Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie, lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento (AKVpedia, 2011).
- Los sistemas SFS de tipo vertical son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por periodos de instauración, estimulando el suministro de oxígeno. También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua. El agua infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arena o grava) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. La vegetación emergente se planta también en este medio granular. Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo (Jesus, 1998). Donde cola el agua y es conducido por gravedad a una cisterna donde se almacena para su reusó.

Cabe de señalar que estos sistemas deben de contar con un ángulo de inclinación del 5 % de su tamaño, para que se pueda efectuar la conducción del agua por gravedad y evitar el uso de bombas de agua (Setty, 2005).

2.5. IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES EN LA INSTITUCIÓN

2.5.1. IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO

Estos sistemas de tratamiento de agua residual por los HA juegan un papel muy importante en la sociedad, debido a que previene enfermedades de las aguas residuales hacia la salud pública, ya que se sabe que las aguas residuales albergan microorganismos (patógenos) incluyendo virus, protozoos y bacterias. Los organismos patogénicos pueden originarse en los individuos afectados

o en animales domésticos o salvajes, de los cuales pueden o no presentar señales de enfermedad. Las enfermedades más destacadas hacia la salud pública son la diarrea y la gastroenteritis, en algunos casos puede llevar hasta la muerte. La eliminación de las aguas residuales ha hecho que se disminuya la propagación de mosquitos entre el más conocido se encuentra el dengue.

En el medio ambiental los humedales artificiales aportan al crecimiento de la flora acuática y a la vida de insectos como grillos y gusanos de plantas, no daña los mantos acuíferos y el suelo, debido a que no tiene ningún contacto con estos. Los HA son totalmente sustentables como estrategia de una institución o empresa debido a su bajo costo de mantenimiento y de operación, y la disminución del gasto de agua potable que se usa para otras actividades, además de cumplir con las normas de la CONAGUA y la SEMARNAT.

2.5.2. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente, un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos tiene lugar. Por lo tanto, la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja.

Cuadro 2.1: Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrofitas

Tipos de contaminantes	Remoción
Remoción de sólidos suspendidos	La mayor parte de sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción. Las raíces de las macrofitas y el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal.
Remoción de materia orgánica	La remoción de la materia orgánica tiene lugar principalmente mediante la biodegradación aeróbica y anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos.
Remoción de Nitrógeno	Al momento que ingresa agua residual al humedal artificial, la mayor parte del nitrógeno está presente como amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales artificiales son la nitrificación y la denitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato.

Remoción de Fosforo	El Fosforo está presente en la alcantarilla en tres distintas formas: como orto fosfato, poli fosfato y fosfato orgánico. La remoción de orto fosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con AL, Fe, Ca y materiales arcillosos e la matriz del sustrato. El consumo de fosforo por la planta puede ser insignificante comparado con los efectos de absorción.
Remoción de metales pesados	Los metales traza tienen una alta afinidad para la adsorción y complejización con material orgánico y se acumulan en la matriz de un humedal artificial. Los metales pueden encontrarse en formas solubles o como partículas asociadas, siendo las primeras formas más biodisponibles. Los procesos físicos y químicos tales como la adsorción, precipitación, complicación, sedimentación, erosión y difusión, determinan la distribución entre las partículas y las fases disueltas.
Remoción de bacterias	La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, la sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos incluye el ataque bacteriano. Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos).

1

2.5.3. CARACTERISTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Las características más destacadas de los humedales artificiales se identifican en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.2: Características de los Humedales Artificiales

Características	Humedales Artificiales (HA)
Limitaciones climáticas	se adapta a cualquier clima tropical
Profundidad hasta el nivel friático	No critica
Pendiente	Normalmente inferior al 5 %
Permeabilidad	Baja o moderada
Pre tratamiento	Sedimentación Primaria
Vegetación	La necesaria

2

¹Cuadro 2.1: Elaborado por los autores de esta estudio

²Cuadro 2.2- Datos sacados del libro Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, de los autores Delgadillo Oscar, Camacho Alan, Pérez Luis y Andrade Mauricio (2010).

Para conocer las ventajas y desventajas que tienen los diferentes tipos de Humedales Artificiales, se presentan a continuación un cuadro comparativo.

Cuadro 2.3: Comparación entre los diferentes flujos de humedales

	Flujo superficial (FWS)	Flujo subsuperficial (SFS)
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios)	Para tratar flujos primarios (aguas tratadas)
Operación orgánica	Operación con baja carga orgánica	Alta tasa de carga orgánica
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restas vegetales y el flujo subterráneo del agua mantiene una temperatura casi constante
Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
Costo	Menor costo en relación al SFS	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio
Valor ecosistema	Mayor valor como ecosistema para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas, o dependiendo de la cantidad de habitantes es el tamaño
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad de agua)	Puede usarse como tratamiento secundario

3

Cabe destacar que los sistemas de flujo horizontal tienen mayor riesgo de colapsar en términos de circulación del agua (taponamiento del sustrato), por tanto requiere que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión.

³Cuadro 2.3- Datos sacados del libro Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, de los autores Delgadillo Oscar, Camacho Alan, Pérez Luis y Andrade Mauricio (2010).

Cuadro 2.4: Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial

	Horizontal	Vertical
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado de oxidación	Más reducido	Más oxidación
Eficiencia	Más superficie	Menos superficie
Carga superior	De 4 a 6 gramos DBO	De 20 a 40 gramos DBO
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

4

2.5.4. HUMEDALES ARTIFICIALES EN LAS INSTITUCIONES: HOTEL GRAN OASIS RIVIERA MAYA (GORM)

Una de las instituciones que se caracteriza por su sustentabilidad es el Hotel Gran Oasis Riviera Maya, localizada en el estado de Quintana Roo entre los municipios de Tulum y Solidaridad. Esta institución a lo largo de 15 años ha buscado estar en compatibilidad con las normas del estado y de la salud pública, adoptando el sistema de humedal artificial para el tratamiento de sus aguas residuales, la cual la ha colocado en el primer lugar de las instituciones sustentables y responsables de la zona.

Este sistema consta de uso de un sistema de tratamiento primario de captación de lodos, posteriormente por gravedad es conducida a un tanque homogenizador donde se encuentran dos bombas que se activan automáticamente para trasladar el efluente a un sistema de tratamiento secundario, el cual consta de tres procesos: anaerobio, aerobio y sedimentación, que realizan un tratamiento de circulación constante, en este proceso la participación bacteriana juega un papel muy importante debido a que se alimenta de la materia orgánica fecal. Despues de este proceso el efluente es llevado a un humedal de flujo subsuperficial (SFS) tipo horizontal, en donde el procesos de oxidación del resto de materia orgánica es absorbida por las raíces de las plantas acuáticas de la zona, desinfectando por completo el efluente, este sistema SFS cuenta en su salida con colector en donde se almacena cierta cantidad de efluente y por gravedad es conducido a un sistema terciario o de cloración, que realiza el proceso de transparencia del efluente, para posteriormente ser almacenado en un tanque, donde el agua ya tratada se encuentra lista para los sistemas de riego (mayor detalles en el Anexo A).

Con este sistema la empresa Hotel Gran Oasis de la Riviera Maya, ha encontrado una estabilidad económica con respecto al consumo y costo del agua, además de cumplir con las especificaciones de la CONAGUA y la SEMARNAT.

⁴Cuadro 2.4- Datos sacados del libro Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, de los autores Delgadillo Oscar, Camacho Alan, Pérez Luis y Andrade Mauricio (2010).

2.6. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

2.6.1. UBICACIÓN IDEAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

La topografía del terreno apto para la instalación de un humedal artificial es uno de topografía uniforme horizontal o en ligera pendiente (Setty, 2005). Una ubicación ideal debe tener un nivel o inclinación natural muy suave, puede estar expuesto al sol en su totalidad, para poder facilitar el proceso de oxidación de las macrofitas, y debe de estar cerca de la fuente de aguas negras o residuales. Para la uniformidad del flujo, un cimiento firme es necesario. Los humedales construidos para tratar aguas negras no deben ser construidos en áreas donde haya suelos inundados. Esto para la precaución de la alteración del flujo deseado y la consecuente contaminación del agua superficial y manto acuífero (Cortijo, 2004). Se pueden considerar también diferentes aspectos en los tipos de humedales artificiales, los cuales se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.5: Consideraciones de ubicación para los tipos de humedales artificiales

	Humedales artificiales de tipo FWS	Humedales artificiales de tipo SFS
Consideraciones de ubicación	Los sistemas FWS se suelen diseñar con depósitos o canales horizontales, a pesar de que es posible construir depósitos en terrenos de más pendiente y con topografía más irregular, el movimiento de tierras es necesario, aunque afectara al costo constructivo del sistema. En consecuencia los sistemas de terrenos pantanosos se suelen construir con pendientes inferiores al 5% (Llorens, 2007).	Los sistemas SFS se suelen diseñar y construir con pendientes de 1% o superiores. En términos generales para favorecer el flujo del agua en el humedal, este debe tener una ligera pendiente para facilitar el drenaje y los procesos de remoción dentro del lecho (Llorens, 2007).

5

2.6.2. IMPERMEABILIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

Para la consideración de impermeabilización los dos tipos de humedales tanto FWS como SFS, requieren generalmente que se coloque una barrera impermeable para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea. Algunas veces esta barrera está presente naturalmente por una capa de arcilla y que pueden ser compactados hasta un estado cercano

⁵Cuadro 2.5- Datos sacados del libro Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, de los autores Delgadillo Oscar, Camacho Alan, Pérez Luis y Andrade Mauricio (2010).

al impermeable. Otras posibilidades son los tratamientos químicos, una capa de bentonita o de asfalto, o algún tipo de membrana (Llorens, 2007).

2.6.3. SUBSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACIÓN

Los substratos en los humedales artificiales incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El substrato, sedimentos y los restos de vegetación son importantes por varias razones:

1. Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
2. La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.}
3. Muchas transformaciones químicas y biológicas, sobre todo microbianas, tienen lugar dentro del substrato.
4. El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
5. La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos, es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases disponibles y aunque se presentan diluciones de oxígeno de la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un substrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales (Llorens, 2007).

2.6.4. TIPOS DE VEGETACIÓN PARA UN HUMEDAL ARTIFICIAL

Entre las plantas propias de los humedales las hay que son flotantes, las hay que viven completamente inmersas en el agua y las hay que son anfibias, también denominadas Helofitos o plantas emergentes. De entre todos los diversos grupos de hidrofitos, los que más importancia tienen en los procesos de depuración son los Helofitos o plantas anfibias, que tienen sus raíces hundidas en el suelo del fondo del humedal, pero que sus tallos y hojas, tras atravesar la lámina de agua, emergen por encima de la superficie y desarrollan las funciones propias de los vegetales (fotosíntesis, floración, reproducción fructificación y diseminación) en contacto con el aire atmosférico. A continuación se describirán los diferentes tipos de especies vegetales más usadas en humedales artificiales.

Cuadro 2.6: Características de las especies más utilizadas en Humedales Artificiales

Nombre científico	Familia	Nombre (s) comunes (s)	Características sobresalientes	Temperatura deseable °C
<i>Thypa spp</i>	Tifácea	Espadaña, Enea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohordo, Henea, Junco de la pasión, Maza de agua	Crece en distribución, es capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales, se propaga fácilmente, es capaz de producir una biomasa anual grande, tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y la cosecha	10 a 30
<i>Scirpus spp</i>	Ciperácea	Tutora	Crecen en grupo, son plantas ubícuas, crecen en aguas costeras, interiores y humedales, crecen bien en aguas desde 5cm hasta 3m de profundidad	18 a 27
<i>Phragmytes spp o australis mas común</i>	Gramínea	Carrizo	Son altos, tienen rizomas perenne extenso, son plantas acuáticas usadas más extensas, pueden ser eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente, son muy usadas en humedales pro que ofrecen un bajo valor alimenticio	12 a 23

6

2.6.5. MICROORGANISMOS

La eficiencia de los humedales como sistema de tratamiento está condicionada fundamentalmente por la actividad microbiológica que en ellos se lleva a cabo. Es por esto que, al diseñar y construir un humedal artificial, se debe tomar muy en cuenta la creación de un ambiente propicio para el crecimiento de los microorganismos. Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominaran los microorganismos anaerobios.

⁶Cuadro 2.6- Datos sacados del libro Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, de los autores Delgadillo Oscar, Camacho Alan, Pérez Luis y Andrade Mauricio (2010).

Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección(Lara B. , 1999).

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera(Lara B. , 1999).

2.6.6. PLANTACIÓN DE VEGETACIÓN

Usando vegetación con un sistema de raíces poco profundas puede ser muy eficaz. Estos complejos ecosistemas de plantas, microorganismos y sedimentos, actúan como un filtro biogeoquímico, removiendo eficientemente los bajos niveles de contaminación en largos volúmenes de agua dando protección a recursos de aguas naturales como ríos, lagos y aguas subterráneas. Una vez un humedal artificial está funcionando, puede en teoría trabajar por sí solo.

En la construcción de los sistemas FWS y SFS, es de vital importancia establecer la vegetación en la densidad apropiada. Si están disponibles, las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio, deben ser preferidas. Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua. Adicionalmente presenta el problema del posible consumo de semilla por parte de los pájaros, por lo que la más aconsejable es plantar a partir del trasplante de rizomas al lecho previamente preparado (Perez M., 2009).

2.6.7. HIDRÁULICA

En un humedal SFS este concepto es necesario para asegurar que las condiciones de flujo sub-superficial se mantienen en circunstancias normales durante todo el periodo de funcionamiento del sistema. Esto solo es posible a través de un cuidadoso diseño hidráulico y unos métodos constructivos apropiados.

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia es impuesta por la vegetación y la capa de sedimentos en los sistemas FWS, y el medio, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados en los sistemas SFS. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de la carga entre la entrada y salida del sistema. La mejor solución en lo referente a construcción, es proveer al humedal de un fondo con una inclinación que sea suficiente para permitir un drenaje completo cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel de agua. La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento (Llorens, 2007).

Capítulo 3

DESARROLLO

INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se definirán las etapas de los procesos primarios que ayudaran a la eficiencia del humedal, la estimación del dimensionamiento además de la ubicación en la Universidad. Tomando en cuenta las normas reguladoras de estos procesos, para la operación de dicho tratamiento.

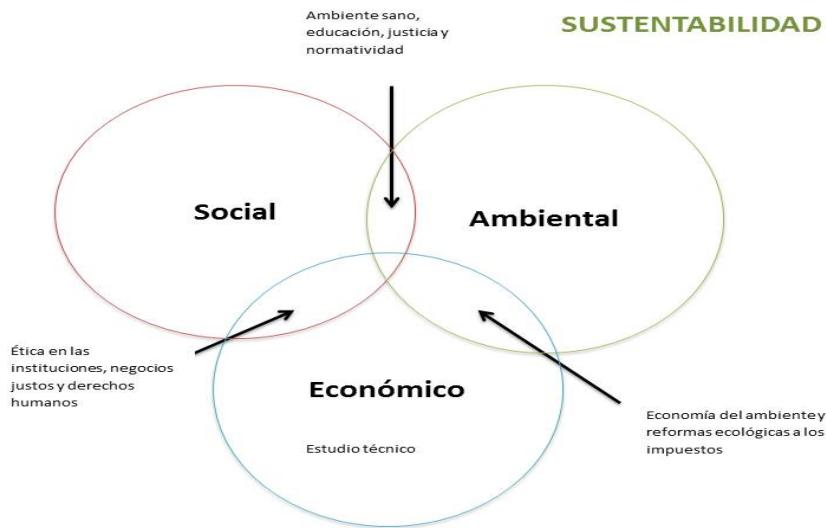
3.1. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

El tipo de investigación que se desarrolla en este proyecto tiene un enfoque mixto, porque se precisa el empleo de cálculos cuantitativos aplicados al estudio técnico y económico, así como estudios no cuantitativos para el estudio ambiental y social.

La investigación se basa en libros, entrevistas, visitas con especialistas, bases de datos como EBSCO y PROQUEST, REDALYC, visitas a las oficinas de SEMARNAT y CONAGUA para asesorarse bien en el estudio ambiental.

Para proveer al proyecto de los aspectos más importantes que se precisan para estudiar la sustentabilidad del proyecto, se divide en tres estudios: ambiental, social y económico, éste último requiere que se realice un estudio técnico para conocer los elementos que integran al proceso y poder estimar los cálculos monetarios.

Figura 3.1: Criterios de Sustentabilidad



1

3.2. ESTUDIO TÉCNICO

INTRODUCCIÓN

En esta sección se calculan las dimensiones de cada proceso que integra el sistema de tratamiento de agua residual tipo humedal artificial, además de la ubicación y distribución del sistema.

Los objetivos generales de un análisis técnico-operativo son los siguientes:

- Verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende.
- Analizar y determinar el tamaño óptimo, la localización óptima, los equipos, las instalaciones y la organización que se requiere para realizar la producción. (Gabriel, 2006).

3.2.1. RECURSOS DE AGUA Y SUELO

3.2.1.1. DISPONIBILIDAD DE TERRENO

Un aspecto relevante es la propiedad legal de los terrenos y su real disponibilidad para ser asignados al proyecto.

Se propone ubicar la planta de tratamiento en el mismo lugar o en un lugar cercano al edificio donde se generaran las aguas residuales a tratar, ya que Universidad del Caribe cuenta con el espacio geográfico suficiente para la implementación de la planta de tratamiento, además el cual es óptimo ya que se encuentra a un lado de las instalaciones que requieren el sistema.

¹Figura 3.1: Elaborado por los autores de este estudio.

3.2.1.2. DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO

Se refiere a la demanda insatisfecha de agua para riego, esto se debe a la falta o escasez del recurso o a la distribución de la oferta de agua a lo largo del año por parte del municipio.

Las aguas residuales ya tratadas en la planta pueden satisfacer la demanda de agua requerida por la institución para usarlas en el riego de sus áreas verdes, a la vez estas aguas residuales ya tratadas pueden permitir que se mantengan las áreas verdes todo el año, sin usar el agua potable que proporciona el municipio y aun cuando las lluvias se concentren en épocas determinadas.

3.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Como se expresa en este estudio, se propone tratar las aguas residuales para el riego de las áreas verdes de la Universidad del Caribe, por lo tanto el sistema de tratamiento estará sujeto los requerimientos de la institución involucrada y del organismo regulador, en este caso la Universidad del Caribe y la empresa CONAGUA.

3.2.2.1. POLÍTICAS DE CONAGUA RESPECTO AL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

Para poder formular un proyecto de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se tiene que evaluar previamente la política de la empresa de agua reguladora de este tipo de proyectos, en este caso, las políticas de la empresa CONAGUA, esta es una dependencia de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Dicha ley y políticas reguladoras que regula el tratamiento de aguas residuales es la “Ley de Aguas Nacionales de 1992”, la cual se describe en el punto “3.3.3.- Papel de las instituciones reguladoras para la implementación del proyecto”.

3.2.2.2. REQUERIMIENTOS DE LA CALIDAD SANITARIA Y AMBIENTAL DEL EFLUENTE

Para poder utilizar el agua tratada en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, esta debe contar con ciertas características para que el agua sea considerada reutilizable, estos requerimientos los decretan algunas instituciones encargadas de regular estos tipos de proyectos, a continuación se presentan dichos requerimientos de calidad que debe cumplir el agua tratada.

1. Físicas

- Turbiedad (se mide con un turbidímetro en unidades de turbiedad) y el límite máximo permisible es: 5NTU
- Partículas insolubles de arcilla
- Material mineral
- Basuras orgánicas
- Plancton y otros organismos microscópicos
- Color: se origina por la presencia de materia orgánica del suelo o de los vegetales, se mide en unidades de color, el límite máximo permisible es: 20 U.D.C.

- Color verdadero: sustancias orgánicas en solución o en estado coloidal
- Color aparente: sólidos orgánicos en suspensión
- Olor: se origina por la presencia de plancton, vegetación en putrefacción, bacterias y desechos, el límite máximo permisible se mide por la prueba organoléptica
- Temperatura: es importante señalándose como optima entre 10°C y 15 °C

2. Químicas

- Están dadas por la presencia o ausencia de determinados elementos y son muy importantes de la salud pública, por lo regular se analizan los siguientes elementos: Arsénico, bario, cadmio, cloro, cianuro, plomo, selenio, plata, mercurio, nitratos, cobre, flúor, hierro, manganeso, cloruros, cloro, sulfatos, dureza y detergentes.

3.2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de la planta de tratamiento tipo humedal es usado habitualmente con la ayuda de algunas procesos primarios, los cuales son:

El primer proceso está formado por trampas de grasas, en la que se realizó la separación de las grasas producidas y el agua, donde las grasas por su densidad se colocan en la parte superior y el agua en la inferior. El segundo proceso es la captación de las aguas residuales provenientes de la trampa de grasas y las descargas provenientes de los baños (wc's), en este tanque de captación es donde los residuos sólidos más grandes se depositan por gravedad en la parte inferior y el agua residual en la parte superior, para posteriormente pasar al tanque de sedimentación que representa el tercer proceso, la cual está dividida en tres partes, y donde se eliminan los sólidos restantes de las aguas mediante el método de sedimentación, la primera parte sirve para reducir la velocidad del flujo que entra al tanque y ahí se quedan algunos sólidos, la segunda parte del tanque sirve para mantener el agua ya sin velocidad en el flujo y los sólidos caen por su propio peso hasta el fondo del tanque, ya en la tercera parte el agua está sin sólidos y lista para pasar al biodigestor, cabe mencionar que conforme sube el nivel de agua en cada parte del tanque, esta va pasando a través de cada sección, para posteriormente pasar al biodigestor.

El siguiente proceso es el biodigestor, este registro es donde se encuentra la vegetación encargada de eliminar todos los contaminantes o microorganismos que no se eliminaron en apas anteriores, este está compuesto por plantas especiales para la eliminación de algunos contaminantes del agua, las cuales van desde fuera del tanque para obtener oxígeno de la atmósfera para enviarlo hasta las raíces las cuales se encuentran dentro del tanque, logrando que todo el tallo y las raíces de las plantas pasen a través de toda el agua captada en este registro eliminando así sus contaminantes, esta misma agua pasa a través de rocas, grava y gravilla para lograr obtener agua limpia y descontaminada, el biodigestor cuenta con una salida en la parte superior manteniendo la regulación del nivel de agua en el caso de precipitaciones pluviales para poder acceder al registro de agua, donde el agua efluente estará lista para su reúso en las áreas verdes de la institución (ver figura en la sección 4.7).

3.2.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES YA EXISTENTES

Actualmente la Universidad del Caribe cuenta con los siguientes números de material sanitario y accesorio de cocina, que realizan el consumo del volumen de agua utilizada en la universidad:

Cuadro 3.1: Tipos de accesorios donde se produce el agua residual en la Universidad del Caribe

Edificio	Wc	Lavamanos	Mingitorios	Lavabos
A	29	15	8	2
B	27	10	9	25
C	27	14	9	2
D	24	14	7	-
Total	107	53	33	29

²

La universidad consume aproximadamente un volumen de $1,100m^3$ de agua por mes, lo que produce un gasto aproximado de \$30,000. El volumen de agua que se consume representado en litros:

$$\frac{1,100m^3}{mes} \left(\frac{0,001lt}{1cm^3} \right) \left(\frac{10^6cm^3}{1m^3} \right) = 1,100,000 \frac{lt}{mes}$$

Suponiendo que el material sanitario y accesorios de cocina producen el mismo volumen de agua utilizada:

Cuadro 3.2: Total de accesorios donde se produce el agua residual de la Universidad del Caribe

	Total
Wc	107
Lavamanos	53
Mingitorios	33
Lavabos	29
total de piezas	222

³

$$\frac{1,100 \frac{m^3}{mes}}{222} = 4,95 \frac{m^3}{mes} \approx 5 \frac{m^3}{mes}$$

Lo cual en litro equivale a:

$$5 \frac{m^3}{mes} \left(\frac{0,001lt}{1cm^3} \right) \left(\frac{10^6cm^3}{1m^3} \right) = 5,000 \frac{lt}{mes}$$

Calculando el volumen por día de cada uno:

²Cuadro 3.1- Datos obtenidos en los planos de la Universidad del Caribe, Arq. Carlos Silva

³Cuadro 3.2- Datos obtenidos en los planos de la Universidad del Caribe, Arq. Carlos Silva

$$5 \frac{m^3}{mes} \left(\frac{1mes}{30dias} \right) = 0,166 \frac{m^3}{dia} \approx 0,17 \frac{m^3}{dia}$$

Lo cual en litros equivale a:

$$0,17 \frac{m^3}{dia} \left(\frac{0,001lt}{1cm^3} \right) \left(\frac{10^6cm^3}{1m^3} \right) = 170 \frac{lt}{dia}$$

Por lo que se estima el consumo de agua de $170m^3/dia$ por cada uno de los materiales sanitarios y accesorios de cocina.

Estimando que en el Edificio E se contara con el siguiente material sanitario y accesorios de cocina que puedan utilizar agua:

Cuadro 3.3: Posible cantidad de accesorios de depuración de agua residual en el Edificio E

Edificio E	
Wc	24
Lavamanos	18
Mingitorios	-
Lavabos	35
Total	77

4

En este caso los mingitorios no se toman en cuenta ya que se estima el uso de mingitorios de cero agua.

Suponiendo el mismo uso de volumen de agua que los materiales sanitarios y accesorios de cocina ya existentes:

$$77 \left(0,17 \frac{m^3}{dia} \right) = 13,09 \frac{m^3}{dia} \approx 13,1 \frac{m^3}{dia}$$

En litros equivale a:

$$13,1 \frac{m^3}{dia} \left(\frac{0,001lt}{1cm^3} \right) \left(\frac{10^6cm^3}{1m^3} \right) = 13,100 \frac{lt}{dia}$$

Estimando el volumen de agua usada por mes:

$$13,1 \frac{m^3}{dia} \left(\frac{30dia}{1mes} \right) = 393 \frac{m^3}{mes}$$

Representándolo en litros:

$$392 \frac{m^3}{mes} \left(\frac{0,001lt}{1cm^3} \right) \left(\frac{10^6cm^3}{1m^3} \right) = 393,000 \frac{lt}{mes}$$

Se estima un uso de volumen de agua de $393,000lt/mes$ en el Edificio E de la Universidad del Caribe.

⁴Cuadro 3.3- Datos obtenidos en los planos del nuevo edificio, Arq. Carlos Silva

3.2.5. ESTIMACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Las dimensiones se calculan en base al volumen de agua que se usa al día en cada material sanitario y accesorio de cocina ya existentes. El grosor exterior será de 15cm para todo el sistema, ya que es la medida convencional de estos sistemas.

3.2.5.1. TRAMPA DE GRASAS

Para el cálculo de las trampas de grasas se dimensionara con respecto al número de lavabos y lavamanos del Edificio B, ya que actualmente cuenta con una trampa de grasas con un volumen de captación de $50cm \times 60cm \times 70cm$ (ignorando el grosor externo):

Cuadro 3.4: Comparación de accesorios de uno de los edificios ya existente y el nuevo Edificio E

	Edificio B	Edificio E
Lavamanos	10	18
Lavabos	25	35
Total	35	53

⁵

Calculando el volumen de cada una de las piezas del Edificio B con respecto a la trampa de grasa instalada en el mismo:

$$\frac{50cm \times 60cm \times 70cm}{35} = 1,429cm \times 1,714cm \times 2cm$$

Ahora multiplicándolo por el número de piezas que se estima tendrá el Edificio E, para calcular el volumen de captación de la trampa de grasas que se desea instalar:

$$(1,429cm) (53) \times (1,714cm) (53) \times (2cm) (53)$$

$$75,74cm \times 90,84cm \times 106cm$$

Tomando en cuenta el grosor, las dimensiones del sistema tendrán una medida total de:

$$(75,74cm + 30cm) (90,84cm + 30cm) (106cm + 15cm)$$

$$= 105,74cm \times 120,84cm \times 121cm \quad (3.1)$$

La representación grafica de las dimensiones de la trampa de grasas se muestra en la sección 4.1, donde se ubica el resultado de las dimensiones de cada uno de los lados.

⁵Cuadro 3.5- Datos obtenidos en los planos de la Universidad del Caribe, Arq. Carlos Silva

3.2.5.2. REGISTRO CONVENCIONAL

Para el cálculo de dimensiones del registro convencional, se dimensiona con respecto al total de piezas de material sanitario y accesorios de cocina que se encuentran instalados en el Edificio B, ya que actualmente cuenta con un registro convencional con un volumen de captación de $60cm \times 70cm \times 70cm$ (ignorando el grosor externo):

Cuadro 3.5: Comparación de accesorios del Edificio B y el nuevo Edificio E

	Edificio B	Edificio E
Wc	27	24
Lavamanos	10	18
Mingitorios	9	-
Lavabos	25	35
Total	71	77

⁶

Calculando el volumen de cada una de las piezas del Edificio B con respecto al registro convencional instalada en el mismo:

$$\frac{60cm \times 70cm \times 70cm}{71} = 0,845cm \times 0,986cm \times 0,986cm$$

Ahora multiplicándolo por el número de piezas que se estima tendrá el Edificio E, para calcular el volumen de captación del registro convencional que se desea instalar:

$$(0,845cm) (77) \times (0,986cm) (77) \times (0,986cm) (77)$$

$$= 65,1cm \times 75,9cm \times 75,1cm$$

Tomando en cuenta el grosor, las dimensiones del sistema tendrán una medida total de:

$$(65,1cm + 30cm) (75,9cm + 30cm) (75,9cm + 15cm)$$

$$= 95,1cm \times 105,9cm \times 90,9cm \quad (3.2)$$

La representación gráfica de las dimensiones del registro convencional se muestra en la sección 4.2, donde se ubica el resultado de las dimensiones de cada uno de los lados.

3.2.5.3. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Para el cálculo de las dimensiones del tanque de sedimentación se tomará en cuenta una capacidad de almacenamiento de agua residual de $1,5dia$, ignorando el grosor externo del sistema, por lo que tendrá un volumen de almacenamiento de:

$$0,17\frac{m^3}{dia} (77) = 13,09\frac{m^3}{dia}$$

⁶Cuadro 3.5- Datos obtenidos en los planos de la Universidad del Caribe, Arq. Carlos Silva

$$\left(13,09 \frac{m^3}{dia} \right) (1,5dia) = 19,635m^3$$

Calculando la medida por lado:

$$lado = \sqrt[3]{19,635m^3} = 2,6978m \approx 2,7m$$

Para mejores resultados de sedimentación, se sabe que entre más recorrido haga el agua residual, mejor será la calidad del efluente. Por lo que se distribuirán las medidas por conveniencia:

$$largo \times ancho \times altura$$

Cuadro 3.6: Distribución de medidas interiores del tanque de sedimentación

	<i>m</i>
Largo	7,29
Ancho	2,7
Altura	1

⁷

Tomando en cuenta el grosor de las paredes de separación dentro del sedimentador. Donde el grosor será de 3cm tomando como referencia el grosor de los tinacos de concreto convencionales. La altura de las paredes de separación tendrá diferentes alturas, la cual se estiman 3, basándose en el mecanismo de sedimentación del GORM, para la sedimentación efectiva.

Cuadro 3.7: Altura de las paredes de separación dentro del tanque sedimentador

	Altura <i>m</i>
Pared 1	0,80m
Pared 2	0,75m
Pared 3	0,70m

⁸

Por lo que se estima un volumen de las paredes de separación de:

$$p_1 = (2,7m) (0,03m) (0,80m) = 0,0648m^3$$

$$p_2 = (2,7m) (0,03m) (0,75m) = 0,06075m^3$$

$$p_3 = (2,7m) (0,03m) (0,70m) = 0,0567m^3$$

El cual influirá en el volumen de almacenamiento del tanque, por lo que el almacenamiento total del sistema será de:

⁷Cuadro 3.6- Elaborado por los autores de este estudio.

⁸Cuadro 3.7- Elaborado por los autores de este estudio.

$$0,0648m^3 + 0,06075m^3 + 0,0567m^3 = 0,18225m^3$$

$$19,635m^3 - 0,18225m^3 = 19,45275m^3$$

Tomando en cuenta el grosor, las dimensiones del sistema tendra una medida total de:

$$\begin{aligned} & (7,29m + 0,30m) (2,7m + 0,30m) (1m + 0,15m) \\ & = 7,59m \times 3m \times 1,15m \end{aligned} \quad (3.3)$$

La representación grafica de las dimensiones de la trampa de grasas se muestra en la sección 4.3, donde se ubica el resultado de las dimensiones de cada uno de los lados.

3.2.5.4. DIMENSIONES DEL HUMEDAL

- PRUEVA PILOTO

Basándose en los diámetros de grava que se estima utilizar en el humedal, donde se hizo una referencia a escala de la cantidad en litros que estas gravas pueden filtrar. Para así poder dimensionar el volumen de grava a utilizar.

Para esto se tomó como referencia un traste con dimensiones de $22,5cm \times 17,5cm \times 12,5cm$ ignorando el grueso de este. La grava de $1/2in$ y $3/4in$ teniendo la misma proporción en volumen ya que son parte del cuerpo del humedal, por lo que juntos tienen una capacidad de filtración de agua de $2lt$, por lo que calculando el volumen total de estos dos diámetros de grava, tenemos:

- Grava de $1/2in$:

$$22,5cm \times 17,5cm \times 5cm = 1,968,75cm^3$$

$$984,375cm^3 \left(\frac{1m^3}{10^6cm^3} \right) = 1,969 \times 10^{-3}m^3$$

- Grava de $3/4in$:

$$22,5cm \times 17,5cm \times 5cm = 1,968,75cm^3$$

$$1,968,75cm^3 \left(\frac{1m^3}{10^6cm^3} \right) = 1,969 \times 10^{-3}m^3$$

Sumando los dos volúmenes:

$$1,969 \times 10^{-3}m^3 + 1,969 \times 10^{-3}m^3 = 3,938 \times 10^{-3}m^3$$

A parte de las gravas de $1/2in$ y $3/4in$, se hizo una prueba con la grava de $1\frac{1}{2}in$, usando el mismo traste para el volumen utilizado, por lo que tuvo una capacidad de filtración de $1,5lt$, por lo que se utilizó un volumen de:

- Grava de $1\frac{1}{2}in$:

$$22,5cm \times 17,5cm \times 10cm = 3,937,5cm^3$$

$$3,937,5cm^3 \left(\frac{1m^3}{10^6 cm^3} \right) = 3,938 \times 10^{-3} m^3$$

- HUMEDAL EDIFICIO E

Basándose en los resultados de la prueba piloto, se dimensionaran los volúmenes de grava para calcular las dimensiones del cuerpo del humedal.

Calculando los litros de agua por el total de material sanitario y accesorios de cocinas:

$$77 \times 170 \frac{lt}{dia} = 13,090 \frac{lt}{dia}$$

Suponiendo una capacidad de retención de agua del humedal de 1.5 día:

$$\left(13,090 \frac{lt}{dia} \right) (1,5dia) = 19,635lt$$

Basandose en la prueba piloto, el volumen de grava de $1\frac{1}{2}in$ y $1in$ será de:

$$g = \frac{(19,635lt) (3,938 \times 10^{-3} m^3)}{2lt}$$

$$g = 38,66m^3 \quad (3.4)$$

Sacando las medidas por lado:

$$\sqrt[3]{38,66m^3} = 3,38m \approx 3,4m$$

El humedal tendrá una altura de $0,80m$ (basándose en la investigación ya hecha), sabiendo que el humedal es mas eficiente cuando es más largo, se propone la siguiente distribución de grava de $1\frac{1}{2}in$ y $3\frac{3}{4}in$:

Cuadro 3.8: Medidas interiores del humedal propuesto

Lado	m
Largo	14.45
Ancho	3.4
Alto	0.8

⁹

Para la grava de $1\frac{1}{2}in$ en la prueba piloto, se comprobó que en $3,968 \times 10^{-3} m^3$ puede filtrar $1,5lt$ de agua, debido a que estará en la salida del humedal, vista frontalmente tendrá forma de

⁹Cuadro 3.8- Elaborado por los autores de este estudio.

triángulo teniendo la altura propuesta y una base con la misma dimensión, conservando el ancho de 3,4m propuesto, por lo que se estima un volumen de:

$$A_b = \frac{bh}{2} = \frac{(0,80m)(0,80m)}{2} = 0,32m^2$$

Para el volumen:

$$V = A_b \times Ancho$$

$$V = (0,32m^2)(3,4m) = 1,088m^3$$

Por lo que las dimensiones del cuerpo del humedal ya con los tres diámetros de grava, ignorando el grosor, será de:

Cuadro 3.9: Medidas interiores del humedal propuesto con los tres tipos de grava

Lado	m
Largo	14.85
Ancho	3.4
Alto	0.8

¹⁰

Por lo que tendrá un volumen de grava de :

$$14,85m \times 3,4m \times 0,80m = 40,39m^3 \approx 40,4m^3$$

Ahora tomando en cuenta el grueso de las paredes, y sumándole a la altura 10cm para evitar el reboso de agua, por lo que la dimensión total del humedal será de:

$$(14,85m + 0,30m) \times (3,4m + 0,30m) \times (0,80m + 0,10m + 0,15m)$$

$$= 15,15m \times 3,70m \times 1,05m \quad (3.5)$$

Por cuestiones de espacio, se proponen dos humedales que juntas tengan el volumen de captación ya calculado, por lo que cada una tendrán las siguientes dimensiones:

- Humedal 1:

$$7,725m \times 3,70m \times 1,05m$$

- Humedal 2:

$$7,725m \times 3,70m \times 1,05m$$

La representación gráfica del dimensionamiento del humedal obtenido , se representa en la sección 4.4, donde se muestra la ubicación de cada una de las dimensiones obtenidas y la distribución granular del cuerpo del humedal.

¹⁰Cuadro 3.9- Elaborado por los autores de este estudio.

3.2.5.5. REGISTRO DE AGUA

Para el cálculo de volumen de captación del registro de agua, se tomara en cuenta la capacidad en litros que los dos humedales pueden tener. Para eso, se aplicara una regla de tres tomando como referencia el volumen de grava y capacidad de la prueba piloto con el volumen de grava calculado para el humedal, por lo que:

$$\text{capacidad} = \frac{(40,4m^3)(1,5lt)}{3,938 \times 10^{-3}m^3}$$

$$\text{capacidad} = 15,388,52lt$$

Convirtiéndolo en metros cúbicos:

$$15,388,52lt \left(\frac{0,001m^3}{1lt} \right) = 15,38852m^3 \approx 15,39m^3$$

Calculando las dimensiones por lado:

$$\sqrt[3]{15,39m^3} = 2,487m$$

Basándose en el ancho total de los dos humedales, se estima un ancho del registro de agua de:

$$\text{ancho}_o = 3,7m + 3,7m$$

$$\text{ancho}_o = 7,4m$$

Ignorando los grosores de dos lados:

$$\text{ancho}_i = 7,4m - 0,3m$$

$$\text{ancho}_i = 7,1m$$

Se conservara la misma altura del humedal, por lo que tendrá un largo de (ignorando los grosores):

$$\text{largo}_i = \left(\frac{15,39m^3}{(7,1m)(0,90m)} \right)$$

$$\text{largo}_i = 2,41m$$

Por lo que las dimensiones estimadas para el registro de agua, ignorando el grueso, son de:

$$\text{largo}_i \times \text{ancho}_i \times \text{alto}_i$$

$$2,41m \times 7,1m \times 0,90m$$

Ahora tomando en cuenta el grueso, para tener una dimensión total de:

$$\text{largo}_o \times \text{ancho}_o \times \text{alto}_o$$

$$(2,41m + 0,30m) \times (7,1m + 0,30) \times (0,90m + 0,15m)$$

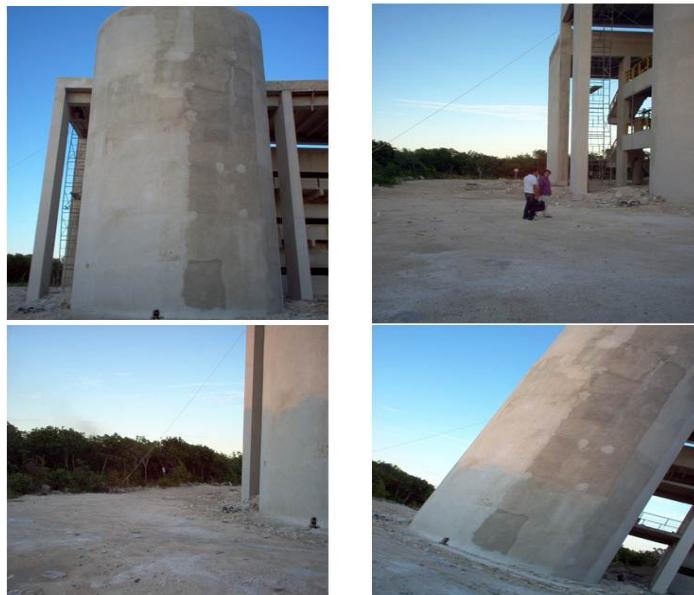
$$2,71m \times 7,4m \times 1,05m \quad (3.6)$$

La representación gráfica del dimensionamiento del registro de agua obtenido, se representa en la sección 4.5, donde se muestra la ubicación de cada una de las dimensiones obtenidas, y la distribucion de entrada que esta tiene.

3.2.6. LOCALIZACIÓN FÍSICA Y DISTRIBICIÓN DE LAS INSTALACIONES

El espacio geográfico para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal, se ubica a un costado del Edificio E de la universidad del Caribe, contando con un espacio de $300m^2$ para el uso en la implementación del sistema.

Figura 3.2: Espacio físico para la implantación del sistema

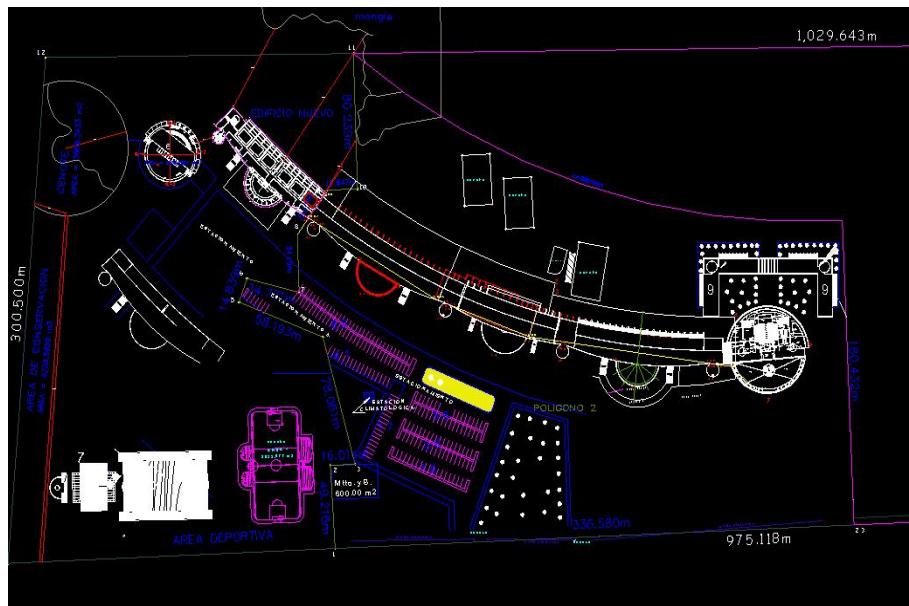


11

Esta localización se puede apreciar gracias a las modificaciones realizadas al plano del nuevo edificio proporcionado por el arquitecto Carlos Silva Suarez.

¹¹Visita realizada el 28 de Septiembre del 2011. Fotografías tomadas por los autores de este estudio.

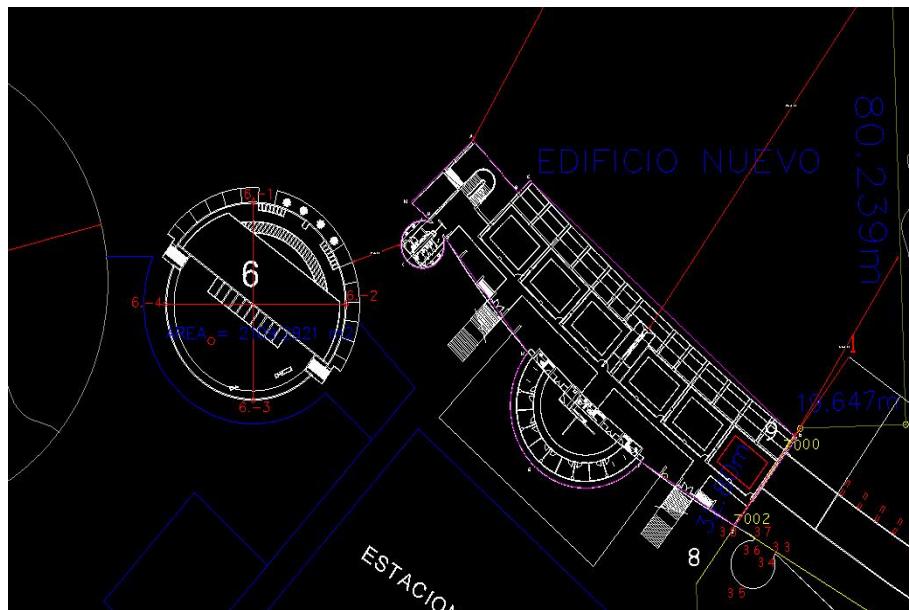
Figura 3.3: Plano general de la universidad del caribe



12

En la siguiente imagen se muestra la ubicación del espacio disponible en el Edificio E. La ubicación del sistema de tratamiento tiene que ser lo más cerca posible de las áreas de depuración. En el sección 4.8 se muestra la ubicación del sistema implementado en el Edificio E.

Figura 3.4: Plano del Edificio E de la Universidad del Caribe



13

Las instalaciones deben distribuirse a lo largo del terreno disponible que posee la universidad en forma lineal debido a que se pretende un flujo de agua por gravedad, para así evitar el uso de

¹²Elaborado en el programa AutoCAD 2007 por el Arq. Carlos Silva

¹³Elaborado en el programa AutoCAD 2007 por el Arq. Carlos Silva

bombas hidráulicas y evitar gastos de energía eléctrica innecesaria y esta distribución dependerá de las capacidades de cada registro para el almacenamiento de las aguas. Dicha distribución se puede apreciar en el diseño propuesto en el punto 4.6.

3.2.7. PROPUESTA PARA EL USO DE PRODUCTOS BIODEGRADABLES

Como se especifica en el estudio, las aguas residuales contienen diferentes tipos de contaminantes, algunos de estos contaminantes se originan de los químicos usados para la limpieza de los baños y cocinas, como los productos de limpieza, estos productos pueden ser los causantes del deterioro en la infraestructura del humedal, también pueden causar la muerte de las plantas del sistema así como la obstrucción de las tuberías que componen la planta de tratamiento.

Por estas razones se propone utilizar solamente productos biodegradables para la limpieza de los baños y cocinas del Edificio E de la universidad ya que estos productos al ser más amigable con el ambiente no causan repercusiones en el humedal.

3.2.8. ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

A continuación se presenta una propuesta para la implementación del sistema, este debe ser construido siguiendo los siguientes pasos generales propuestos, dentro de los materiales, algunos pueden diferir para construir estos sistemas, dependiendo de la localidad donde se implementa el sistema.

1. Identifique una ubicación óptima o clave para la implementación del humedal.
2. Calcular el tamaño del humedal a construir
3. Graduar el fondo de la celda para que tenga una pendiente de 0.5 %
4. Construir los tanques del humedal sobre la tierra con bloques de cemento y concreto u otra materia impermeable.
5. Los tanques del humedal al ser construidos, pueden utilizar un recubrimiento impermeable alternativamente a las construcciones hechas con bloques de cemento y concreto, así se asegura la impermeabilidad de las celdas del humedal ya que si existen grietas u hoyos en el recubrimiento, el sistema puede contaminar el agua subterránea o el suelo.
6. Incorporar una válvula de drenaje en el fondo de los tanques, en el lado de la pendiente, esta válvula sirve para bajar el nivel del agua y motivar el crecimiento de las raíces de las plantas.
7. Incorporar la entrada de las aguas residuales: Las aguas residuales deben estar distribuidas uniformemente en el tanque biodigestor para promover infiltración igual que el humedal justo debajo de la capa de paja.
8. Crear el tubo de salida, este debe estar a la misma altura que la entrada - apenas debajo del nivel de paja- Instalar un filtro de malla fina de plástico para prevenir que el piso y la grava pasen por el tubo, causando posibles estancamientos.
9. Aplicar una capa de arena gruesa de 5cm de espesor en el fondo del tanque.

10. Coloque una capa de grava encima de la capa de arena. El tamaño de la grava en los primeros 50 cm de entrada y los últimos 50 cm a la salida debe de ser aproximadamente de 5 cm de diámetro; esto reduce el riesgo de obstruir la entrada o salida, en caso de que los sólidos suspendidos lleguen a estas áreas. En todas partes del resto del biodigestor, el tamaño de la grava deberá estar entre 0.5 y 3 cm. Se debe aplicar un 45 a 75 cm de capa de grava. La profundidad de la grava puede variar según la capacidad del sistema.
11. Posteriormente se debe poner una capa de pajote o tierra de 5cm de espesor
12. Colocar y sembrar las plantas seleccionadas para el humedal, estas deben tener hojas, tallo, raíces y retoños. Los tallos (la parte que no esté sumergida en el agua) pueden ser cortados a aproximadamente 20 cm. La parte con la raíz debe ser colocada aproximadamente de 5 cm debajo de la capa de paja o tierra orgánica en el humedal construido. Los eneas deben ser colocadas con una distancia de 1m de distancia entre cada planta, los carrizos, juncos y espadañas pueden ser plantadas a 15 cm de distancia (Mitch and Gosselink 2000). Es importante realizar una zona de raíces consistente, se puede realizar esto bajando el nivel de agua gradualmente para motivar que las raíces crezcan más profundo.
13. Saturación del piso con agua hasta la superficie y permita que se evapore lentamente, manteniendo el suelo húmedo durante todo el periodo de propagación, aproximadamente 2-3 meses. Después de que las plantas se hayan establecido, utilice el desagüe para ajustar el nivel del agua del tanque para alentar la penetración más profunda de las raíces de las plantas en medio de la grava. Finalmente las raíces de las plantas se extenderán al fondo de los sustratos. Las plantas deben establecerse bien antes de que se comience a tratar las aguas residuales.
14. El agua del efluente debe salir al nivel del suelo y estas podrán ser captadas en un tanque para su reutilización.

3.2.8.1. LIMITACIONES POTENCIALES

Algunas de las limitaciones que puede tener el sistema son, la entrada y la salida. Algunos humedales construidos están susceptibles a obstrucciones debido a sedimentos que entran en los tubos y previenen el flujo. Esto puede ser prevenido instalando una malla fina o trampas recomendadas para sólidos grandes en la entrada del tubo.

- Especies invasivas: es importante no introducir las especies de plantas de humedales que son compradas para los humedales construidos en viveros en humedales naturales. Algunas especies de plantas son más agresivas que otras y pueden dominar un humedal natural, matando las especies nativas. Es importante evitar esto para mantener la diversidad natural de las especies.
- Derrames: durante una tormenta hay posibilidades que ocurran derrames de aguas, lo cual puede causar que los sólidos que se asentaron previamente se liberen hacia las aguas de superficie. Esto debe ser evitado permitiendo que la salida este siempre abierta y manteniendo el humedal en su nivel de agua natural.

3.2.9. MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA PLANTA

Para un mantenimiento y control requerido a la planta de tratamiento de aguas, es necesario realizar mediciones sobre los niveles de componentes biológicos en el agua, estos componentes se

describen en el estudio ambiental y son necesarios mantenerlos en cierto límite para garantizar la vida y el buen funcionamiento del humedal.

Para realizar dichas mediciones hay dos opciones, la primera es la contratación de una empresa externa, la cual estará encargada de realizar periódicamente estas mediciones o existe la opción de comprar los equipos de laboratorio para realizar este trabajo, para lo cual se requeriría una persona encargada de realizar las mediciones.

Dentro del mantenimiento se encuentra la labor de sacar los lodos que se han ido acumulando con el paso del tiempo, para esto se recomienda contratar a una empresa externa, otra opción que existe es tratarlo internamente mediante trabajadores, estos lodos pueden ser tratados en la institución y usados como composta para el beneficio de las áreas verdes de la Universidad.

También es recomendable comprobar el estado de los sistemas de dosificación de los distintos aditivos y reactivos (sulfato de alúmina, poli electrolito, color, cal, ozono, amoniaco), realizando la limpieza, sustituciones y reparaciones de elementos necesarias.

Cada determinado tiempo, aproximadamente cada 5 años se debe verificar que no existan filtraciones de aguas en el proceso, esto podría dañar en manto freático, también se debe evitar enviar a través del sistema de drenaje, sustancias químicas, lo que debe emplearse en sustitución a esto son sustancias biodegradables, de lo contrario sería un riesgo para la salud del humedal, así como concientizar a la comunidad estudiantil sobre la importancia de no desechar sustancias sólidas al sistema de drenaje, debido a que puede restar la eficiencia a la planta, además de que se pueden obstruir las tuberías que comunican al proceso.

Por último se encuentra el mantenimiento de la vegetación del humedal, este se realiza mediante observación, ya que únicamente se debe verificar que las plantas no crezcan más de lo deseado ya que podrían afectar a otras plantas a su alrededor, así como cuidar que no se estén muriendo y observar que no crezcan plantas invasoras dentro del humedal ya que podrían dañar a las plantas que se encargan de realizar el procesos de eliminación de contaminantes.

3.2.9.1. ADMINISTRACIÓN DE LA PLANTA

Para la administración de la planta se requiere de personal que este verificando el sistema, para este caso se recomiendan dos personas, el supervisor, el cual es el encargado del sistema y es el que debe estar capacitado para verificar y llevar el mantenimiento del humedal, y el ayudante, el cual será el encargado de realizar las rondas de observación y de reportar cualquier anomalía que exista en el sistema.

3.3. ESTUDIO ECONÓMICO

INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se aprecian algunos de los indicadores económicos que afectarían en la implementación de la planta, así como la forma de calcularlos, también se presenta como evitar gastos innecesarios por el mal funcionamiento de la planta, y por último se plasma una estimación aproximada de los costos de los materiales a usar para la implementación y construcción de la planta.

El método utilizado para el desarrollo del estudio económico se basó principalmente en el libro de Jhon Canada titulado “técnicas de análisis económicos para administradores e ingenieros”

3.3.1. CAPACIDADES DE INVERSIÓN, ENDEUDAMIENTO Y OPERACIÓN DE LOS RESPONSABLES

Para asumir la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales, la institución debe tener la solvencia necesaria para participar en el financiamiento de las obras necesarias y garantizar su operación.

Esta solvencia está determinada por la proporción de recursos disponibles (liquidez), con respecto a sus compromisos (pasivos), así como la capacidad de endeudamiento de esta.

Un breve análisis de los indicadores económicos y financieros con información recopilada de los estados financieros de la institución permitirá tener una clara apreciación de estas capacidades.

3.3.2. INDICADORES

Entre los factores económicos y financieros determinantes de la viabilidad del proyecto se consideran:

3.3.2.1. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Los sistemas integrados representan impactos ambientales positivos y negativos, la correcta valoración de estos impactos en especial los positivos, puede determinar una importante rentabilidad económica que justificaría la conveniencia de desarrollar el proyecto.

Dentro de algunos de los impactos ambientales que aportan beneficios económicos incluyen: la reducción de enfermedades infecciosas, la reducción de descargas contaminantes al ambiente, el incremento de la oferta de agua para riego, el incremento en la oferta de empleo y la conservación de áreas destinadas al tratamiento. Entre los principales impactos negativos se consideran la ocupación de áreas potencialmente aptas para ser urbanizadas, lo cual afectaría a la reducción de activos potenciales para la institución.

3.3.2.2. BENEFICIO ECONÓMICO EN EL AHORRO DEL AGUA

El beneficio económico que representa el ahorro del agua que la planta de tratamiento proporciona es aproximadamente $13,1m^3$ por día, lo cual al mes es $340,6m^3$ sin contar los cuatro domingos que tiene el mes ya que esos días la institución mantiene sus puertas cerradas.

No se puede proporcionar un dato económico ya que se necesita tener en funcionamiento la planta y así poder realizar correctamente las mediciones sobre el volumen de agua tratada que se reutiliza.

3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD: TASA MÍNIMA DE RENDIMIENTO (TMAR)

Es la tasa mínima aceptable de rendimiento, sin inflación es la tasa de ganancia anual que un inversionista solicita ganar para llevar a cabo la instalación y operación del proyecto., la TMAR es la tasa de crecimiento real de la empresa por arriba de la inflación.

Normalmente la TMAR depende de tres parámetros: a) La estabilidad de la venta de productos similares, b) La estabilidad o inestabilidad de las condiciones macroeconómicas del país y c) Las condiciones de la competencia en el mercado.

Como se describe, la TMAR no es un factor indispensable del cual dependa al proyecto, debido a que no se desarrollan productos para su venta y a que la institución no es una industria privada

la cual requiera obtener ganancias económicas de los proyectos que genera para subsistir, además como se describe, los objetivos más grandes del proyecto son: en primer lugar la disminución del impacto ambiental generado por la universidad y en segundo lugar las mejoras sociales que conlleva el proyecto, dejando por último el lado

3.3.3.1. RENTABILIDAD ECONÓMICA

La rentabilidad económica es entendida como el balance (económico) entre los beneficios y costos sociales (económicos y ambientales) derivados de la implementación del proyecto en un contexto y plazo determinados.

La cuantificación de la rentabilidad económica se expresa principalmente a través del valor actual neto económico (VANE) y sus indicadores complementarios, la tasa interna de retorno económica (TIRE) y la relación costo/beneficio (B/F).

3.3.3.2. RENTABILIDAD FINANCIERA

La rentabilidad financiera se entiende como la capacidad del proyecto para asumir la devolución de un préstamo otorgado en determinadas condiciones de crédito para su implementación y operación, es decir, mide la capacidad del balance económico (diferencia entre los beneficios y costos económicos y ambientales) para el pago de una línea de crédito.

La cuantificación de la rentabilidad financiera se expresa principalmente a través del valor actual neto financiero (VANF) y sus indicadores complementarios, la tasa interna de retorno financiero (TIRF) y la relación costo/beneficio (C/B).

El cálculo de la rentabilidad financiera requiere considerar la existencia de financiamiento bajo condiciones específicas de plazo, tasas de interés y periodicidad de pagos.

El valor actual neto financiero (VANF) es la sumatoria del capital propio y los valores del flujo financiero establecidos para cada uno de los años del periodo de evaluación.

La cual se puede representar con la formula siguiente:

$$\text{VANF} = \sum \text{VFA}_n + \text{CP}$$

En donde:

VFA_n = Valor del flujo financiero actualizado del año "n"

CP = Capital propio

n = cada uno de los años del periodo de evaluación

Para actualizar los valores del flujo financiero se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{VFA}_n = \text{VF}_n / (1 + \text{TD}/100)^n$$

En donde:

VF_n = Valor del flujo del año n

TD = Tasa de descuento

Para efectos del cálculo de la tasa de descuento (TD) es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$TD = [(1 + CEDC/100) (1 + R/100) (1 + INF/100) - 1] (100)$$

En donde:

CEDC = Costo de la estructura deuda/capital (%)

R = Tasa de riesgo (%)

INF = Tasa de inflación (%)

El costo de la estructura deuda/capital (CEDC) se calcula como sigue:

$$CEDC = [(INT/100 \times EDC/100) + CCP/100 \times (1 - EDC/100)] \times 100$$

En donde:

INT = Tasa anual de interés del préstamo (%)

EDC = Estructura deuda/capital (%)

CCP = Costo anual del capital propio (%)

La tasa interna de retorno financiera (TIRF): La tasa interna de retorno financiera es la tasa de descuento en la que el valor actual neto financiero se toma nulo (cero).

Relación costo beneficio (C/B): La relación costo-beneficio se estima dividiendo la sumatoria de todos los ingresos actualizando al año 0 entre la sumatoria de todos los egresos actualizados al año 0 (VAN ingresos/VAN egresos)

3.3.3.3. VALOR PRESENTE NETO (VPN)

Este valor es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos desconectados a la inversión inicial.

Es claro que para implementar un proyecto las ganancias deberán ser mayores que los desembolsos, lo cual dará por resultado que el VPN sea mayor que cero.

Para calcular el VPN se utiliza el costo del capital o TMAR.

La ecuación para calcular el VPN para un periodo X es:

$$VPN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

En donde:

Q_n = Flujo de caja

A = Valor del desembolso inicial de la inversión

N = Número de periodos considerados

i = Tipo de interés

El interés es la i aplicada, el valor del VPN, es inversamente proporcional al valor de la i aplicada, de modo que la i es la TMAR.

3.3.4. MULTAS, CLAUSURAS Y PARO PARCIAL DE LA PRODUCCIÓN POR CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

En el estudio ambiental del presente proyecto, se presentan las medidas que se deben tomar en cuenta para evitar las multas o sanciones y estas serán suficientes para evitar gastos innecesarios resultantes por el incumplimiento de las normas ambientales.

Así se obtendrán resultados benéficos en los aspectos ambientales, así mismo se favorecerá en el aspecto económico.

3.3.5. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN MATERIALES

A continuación se presenta una tabla con precios en el mercado de los materiales a utilizar para la implementación de la planta.

Cuadro 3.10: Tabla de costos de los materiales

		PROVEEDORES							
Materiales a utilizar:	Unidad	Cemex	Ferrotlapaleria PACO	Promexma	Supresa	Mercado libre	ABC	Proveedores propuestos	
Concreto 150kg/cm ² con impermeabilizante integral	7m ³	\$1,314	-	-	-	-	-	Cemex	
Varillas 3/8 de 6m	Pieza	-	\$103	\$144,3	-	-	-	Ferrotlapaleria PACO	
Parrilla 3/8	100m ²	-	-	\$2,053	-	-	-	Promexma	
Estucado/ aplanado de cemento fino con impermeabilizante integral. (cemento gris)	Ton	-	\$118	-	-	-	-	Ferrotlapaleria PACO	
Tubos de PVC 4in de 6m	Pieza	-	\$200	\$222	\$178,5	-	-	Supresa	
válvula de esfera para desagüe 1,5in	Pieza	-	\$80	\$62	\$53	-	-	Supresa	
Castillos (15 × 15) m	Pieza	-	-	\$120	-	-	-	Promexma	
Grava 1/2in	m ³	-	\$650	-	-	-	\$178,03	ABC	
Grava 3/4in	m ³	-	\$650	-	-	-	\$163,23	ABC	
Grava 1 1/2in	m ³	-	\$750	-	-	-	\$178,03	ABC	
Bacterias aerobias	kg	-	-	-	-	\$1,200	-	Mercado libre	

¹⁴Cuadro 3.10- Elaborado por los autores de este estudio

3.4. ESTUDIO AMBIENTAL

INTRODUCCIÓN

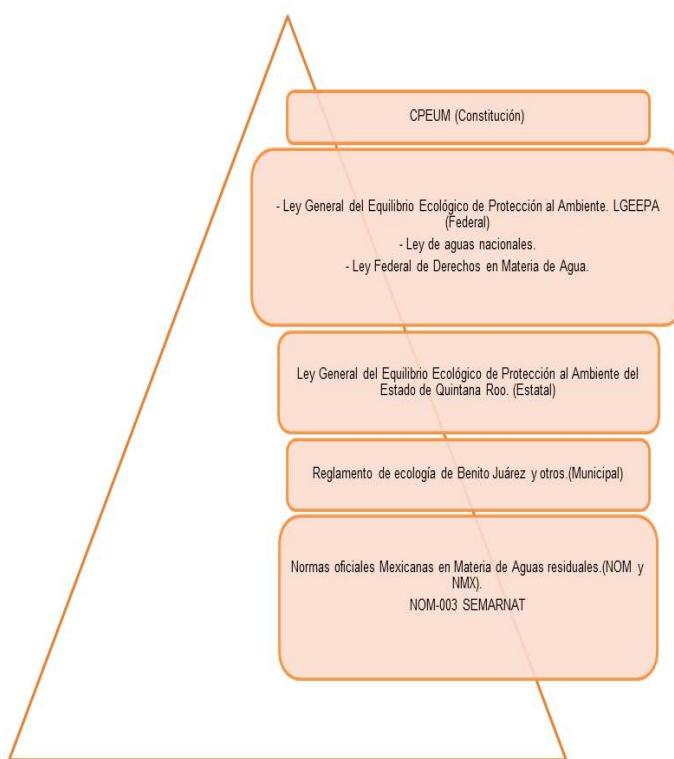
En este apartado se plantea una metodología que se propone seguir para el cumplimiento de los aspectos importantes que deben seguirse para que el proyecto se apegue al entorno ecológico

- Investigar lo referente al marco jurídico, la normatividad que debe seguirse para cumplir con los requisitos que la autoridad nos exige, así como los trámites que deben realizarse.
- Considerar los parámetros más importantes que deben cuidarse en la etapa de la operación del proyecto.
- Plantear el manejo que se le dará a los lodos resultantes del proceso
- Elaborar un estudio de impacto ambiental
- Obtener los resultados del estudio de impacto ambiental

3.4.1. CONTEXTO LEGAL

Para cumplir con la normatividad ambiental, hay que entender que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) rige sobre cualquier otra ley, después tenemos las leyes del ámbito federal seguidas por los reglamentos estatales y municipales, ordenamientos y finalmente las Normas Oficiales Mexicanas, tal como lo podemos apreciar en la pirámide de Kelsen:

Figura 3.5: Jerarquía de la normatividad aplicable, basada en la pirámide de Kelsen



¹⁵Figura 3.1- Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

3.4.2. LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD APLICABLE

3.4.2.1. LEY GENERAL DEL QUILIBRIO ECOLÓGICO DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE

Artículo 92, Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su reuso.

Artículo 118, Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

I. La expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales.

Artículo 120, Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

El vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua.

Artículo 30, Despues de la presentación de una manifestación de impacto ambiental se realizan modificaciones al proyecto de la obra o actividad respectiva, los interesados deberán hacerlas del conocimiento de la Secretaría, a fin de que ésta, en un plazo no mayor de 10 días les notifique si es necesaria la presentación de información adicional para evaluar los efectos al ambiente, que pudiesen ocasionar tales modificaciones, en términos de lo dispuesto en esta Ley.

3.4.2.2. CONDICIONES PARA EL TRABAJO Y REÚSO DEL AGUA

En la Ley de aguas nacionales existe un apartado en el cual se manifiesta que en cuanto a la concesión para el tratamiento y reuso de las aguas residuales, se deberán realizar diversos trámites ante la Comisión Nacional del Agua para solicitar dicha concesión y asumir la responsabilidad sobre el tratamiento de las aguas residuales.

Se deberá tramitar un permiso ante la CONAGUA, tal como lo establece la NOM 001-SEMARNAT-1995 permiso de descarga de aguas residuales. Resolución en un plazo de 60 días hábiles mencionando que la descarga va ser al suelo en forma de riego.

3.4.2.3. MULTAS APLICADAS POR EL INDEBIDO TRATAMIENTO Y REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Ley General del Equilibrio Ecológico de Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo.

Artículo 231.- Quedan prohibidas las siguientes conductas, mismas que en caso de comisión, serán sancionadas con 100 a 5,000 días multa:

IV. No cumplir con las medidas de tratamiento y reuso de aguas.

3.4.3. TRAMITES OBLIGATORIOS

Los trámites que se deben realizar ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) son los siguientes:

- MODIFICACIONES A LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: Modificaciones a proyectos autorizados en materia de impacto ambiental. Por la evaluación y resolución de la solicitud de modificación de proyectos autorizados en materia de impacto ambiental. “Ley Federal de Derechos, artículo 194-H, fracción VI.” \$6,255.00, el pago se deberá efectuar

en el formato: hoja de ayuda de pago de trámites y servicios (e5cinco), en la siguiente liga: <http://www.semarnat.gob.mx/tramitesyservicios/informaciondetramites/Pages/sat5.aspx>

- MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN EL PROYECTO: Se deberá registrar al proyecto como de generador de residuos ante la SEMARNAT en un plazo inmediato, éste trámite no tiene ningún costo y tiene sustento en el “Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades que requieren autorización en materia de impacto ambiental y de las excepciones, artículo 5°, fracción VI”. Además se deberá implementar un plan de manejo para los lodos activados provenientes de las aguas residuales, según la “Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos, Artículo 31”. Ante SEMARNAT podemos ser calificados como Micro generador si nuestra producción de lodos activados es menor de los 400kg al año, pequeño generador si la producción de lodos es mayor de los 400 kg y menor de las 10 toneladas al año y finalmente como gran generador si nuestra producción de lodos rebasa las 10 toneladas al año, dependiendo del nombre con el que se le denomine al proyecto, será el plan de manejo que se llevará a cabo.

3.4.4. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA SU REÚSO

Para asegurar que nuestra planta de tratamiento tipo humedal funcionará de óptimamente y para regular los parámetros importantes, se deberá considerar lo siguiente:

1. Control de las grasas y aceites. El control de los aceites y grasas vertidos al sistema se controlarán mediante la aplicación de trampas de grasa que eviten que pasen al tanque de captación, tal como se refiere en la NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Dice que los establecimientos mercantiles deben contar en sus instalaciones hidráulicas con trampas de grasas y aceites para impedir que éstas se viertan al drenaje, en nuestro caso a la planta de tratamiento, ya que al entrar al sistema se restaría eficiencia.
2. Contaminantes. Para conocer acerca de los límites máximos permisibles de los contaminantes que se deben regular para el reuso de las aguas tratadas en el proceso, se deberá considerar a la NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997.
3. DBO y DQO. Los valores de DBO nos indican que tan limpia o sucia esta el agua del humedal, se expresa en miligramos por litro (mg/L). Dependiendo del valor de la DBO, el agua puede clasificarse como muy limpia si presenta una DBO de 1mg/L y muy sucia si la DBO presenta un valor de 10 mg/L o más, si no se controla este aspecto, el humedal de la planta tomaría aspecto de suciedad y descuido. La DQO es conocida como la Demanda Química de Oxígeno y mide la capacidad de una solución de ácido crómico caliente para oxidar la materia orgánica o cualquier otro compuesto inorgánico, por ejemplo hierro, cobre, etc., que pueda oxidarse. Con esto podríamos medir la cantidad de materia orgánica biodegradable, así como la que no lo es expresada en O₂. (Urbina, 2007)

3.4.4.1. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

Los parámetros que deben vigilarse para controlar la calidad del agua, son los que se establecen en la NOM-003-SEMARNAT-1997. Para saber los métodos para medir los parámetros de PH, materiaa flotante contenida, DBO.

3.4.4.2. NORMAS MEXICANAS APLICABLES

- NORMA MEXICANA NMX-AA-154-SCFI-2011 análisis de agua- determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas-método de prueba.
- NORMA MEXICANA NMX-AA-008-SCFI-2011 análisis de agua - determinación del pH - método de prueba.
- NORMA MEXICANA NMX-AA-006-SCFI-2010 Análisis de agua - Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas - Método de prueba.
- NORMA MEXICANA NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba
- Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

3.4.5. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Esta evaluación consiste en identificar y predecir los impactos del proyecto hacia el entorno natural del predio para posteriormente crear propuestas que los eviten o mitiguen y de esta forma se reduzcan los impactos negativos que representen para el medio ambiente.

Para identificar los impactos se utilizó una lista de control basada en la que fue diseñada por el servicio de investigación cooperativa del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), esta lista de control extensa, puede utilizarse para planear un estudio de impacto ambiental o para resumirlo.

Cuadro 3.11: Lista de control para evolución de impactos

TEMA	SI	PUE DE SER	NO	COMENTARIOS
Formas del terreno ¿Producirá el proyecto:				
Pendientes o terraplenes inestables?	x			
Una amplia destrucción del desplazamiento del suelo?			X	
Un impacto sobre terrenos agrarios clasificados como de primera calidad o únicos?			X	
Cambios en las formas del terreno, orillas, cauces de cursos o riberas?	X			Propios de la implementación del proyecto
Destrucción, ocupación o modificación de rasgos físicos singulares?			X	
Efectos que impidan determinados usos del emplazamiento a largo plazo?			X	
Aire/Climatología ¿Producirá el proyecto:				
¿Emisiones de contaminantes aéreos que excedan los estándares Federales o Estatales o provoquen deterioro de la calidad del aire ambiental?			X	
¿Olores desagradables?		X		Se deberá tener un control específico de la emisión de olores
¿Alteración de movimientos del aire, humedad o temperatura?			X	
¿Emisiones de contaminantes aéreos peligrosos regulados por la Ley del Aire Limpio?			X	
Aqua. ¿Producirá el proyecto:				
¿Vertidos a un sistema público de aguas?			X	Se reúsa el agua para riego, no se dirige al registro municipal
¿Cambios en las corrientes o movimientos de masa de agua dulce o marina?	X			Effuentes a tratar
¿Cambios en los índices de absorción, pautas de drenaje o el índice o Cantidad de agua de escorrentía?			X	
Alteraciones en el curso o en los caudales de avenidas?			X	
¿Represas, control o modificaciones de algún cuerpo de agua igual o mayor a 4 hectáreas de superficie			X	
¿Vertidos en aguas superficiales o alteraciones de la calidad del agua considerando, pero no sólo, la temperatura y la turbidez?	X			Será lo que resulte del tratamiento, se deberán tener controlados los parámetros
¿Alteraciones de la dirección o volumen del flujo de aguas subterráneas?			X	
¿Alteraciones de la calidad del agua subterránea?			X	
¿Contaminación de las reservas públicas de agua?			X	
¿Infracción de los Estándares Estatales de Calidad de Cursos de Agua, si fueran de aplicación?			X	
¿Instalándose en un área inundable fluvial o litoral?			X	
¿Riesgo de exposición de personas o bienes a peligros asociados al agua tales como las inundaciones?			X	
¿Instalaciones en una zona litoral estatal sometida al cumplimiento de un Plan de Gestión de Zonas Costeras del Estado?			X	
¿Impacto sobre o construcción en un humedal o llanura de inundación interior?			X	
Residuos sólidos ¿Producirá el proyecto:				
¿Residuos sólidos o basuras en volumen significativo?	x			Considerando la producción de lodos de desecho
Ruido. ¿Producirá el proyecto:				
¿Aumento de los niveles sonoros previos?	x			Solo en la etapa de la construcción
¿Mayor exposición de la gente a ruidos elevados?			X	
Vida vegetal ¿Producirá el proyecto:				
Cambios en la diversidad o productividad o en el número de alguna especie de plantas (incluyendo árboles, arbustos, herbáceas, cultivos, micro flora y plantas acuáticas)?			X	

Reducción del número de individuos o afectará el hábitat de alguna especie vegetal considerada como única, en peligro o rara por algún Estado o designada así a nivel federal		X	
Introducción de especies nuevas dentro de la zona o creará una barrera para el normal desarrollo pleno de las especies existentes		X	
Reducción o daño en la extensión de algún cultivo agrícola		X	
Vida animal			
Reducirá el hábitat o número de individuos de alguna especie animal considerada como única, rara o en peligro por algún Estado o designada así a nivel federal?		X	
Introducirá nuevas especies animales en el área o creará una barrera a las migraciones o movimientos de los animales terrestres o de los peces		X	
Provocará la atracción o la invasión, o atrapará la vida animal		X	
Dañará los actuales hábitat naturales y de peces	X		
Provocará la emigración generando problemas de interacción entre los humanos y los animales		X	
Usos de Suelo			
Alterará sustancialmente los usos actuales o previstos del área?	X		
Provocará un impacto sobre un elemento de los sistemas de Parques Nacionales, Refugios Nacionales de la Vida Salvaje, Ríos Paisajísticos y Naturales Nacionales, Naturalezas Nacionales y Bosques Nacionales		X	
Recursos naturales			
Alterará la intensidad del uso de algún recurso natural		X	
Destruirá sustancialmente algún recurso no reutilizable		X	
Se situará en un área designada como o que está considerada como reserva natural río paisajístico y natural parque nacional o reserva ecológica		X	
Energía			
Utilizará cantidades considerables de combustible o de energía		X	Todo el proceso será ecológico
Aumentará considerablemente la demanda de las fuentes actuales de energía		X	
Transporte y flujos de tráfico			
Un movimiento adicional de vehículos	X		Si, lo que refiere al camión que recoge los lodos activados, mensualmente.
Efectos sobre las instalaciones actuales de estacionamiento o necesitará nuevos estacionamientos		X	
Un impacto considerable sobre los sistemas actuales de transporte		X	
Alteraciones sobre las pautas actuales de circulación y movimiento de gente y/o bienes		X	
Un aumento de los riesgos del tráfico para vehículos motorizados, bicicletas y peatones		X	
Construcción de nuevas carreteras		X	
Servicio público ¿Tendrá el proyecto un efecto sobre, o producirá, la demanda de servicios públicos nuevos o de distinto tipo en alguna de las siguientes áreas:			
Protección contra incendios		X	
Escuelas		X	
Infraestructuras ¿El proyecto producirá una demanda de sistemas nuevos o de distinto tipo de las siguientes infraestructuras:			
Energía y gas natural		X	
Sistemas de comunicación	X		
Agua	X		
Saneamiento de fosas sépticas		X	
Red de aguas blancas o pluviales	X		
Población			
Alterará la ubicación o la distribución de la población humana en el área		X	

Riesgo de Accidentes			
Implicará el riesgo de explosión o escapes de sustancias potencialmente peligrosas incluyendo, pero no solo, petróleo, pesticidas, productos químicos, radiación u otras sustancias tóxicas en el caso de un accidente o una situación desagradable		X	Se deberá tener cuidado en el manejo de lodos
Salud humana			
Creará algún riesgo real o potencial para la salud		X	Se deberán cuidar la calidad del agua que se vierte al efluente
Expondrá a la gente a riesgos potenciales para la salud		X	Se deberán cuidar la calidad del agua que se vierte al efluente
Economía			
Tendrá algún efecto adverso sobre las condiciones económicas locales o regionales, por ejemplo: turismo, niveles locales de ingresos, valores del suelo o empleo		X	Se producirán nuevos empleos indirectos y directos para la zona
Reacción Social			
Conflictivo en potencia	X		Se deberá realizar una campaña informativa dentro de la población
Una contradicción respecto a los planes u objetivos ambientales que se han adoptado a nivel local		X	
Estética			
Cambiará una vista escénica o un panorama abierto al público		X	
Creará una ubicación estéticamente ofensiva abierta a la vista del público		X	
Cambiará significativamente la escala visual o el carácter del entorno Próximo ¹⁶		X	
Arqueología, cultura e historia			
Alterará sitios, construcciones, objetos o edificios de interés arqueológico, cultural o histórico, ya sean incluidos o con condiciones Para ser incluidos en el Catálogo Nacional		X	
Residuos peligrosos			
Implicará la generación, transporte, almacenaje o eliminación de Algun residuo peligroso reglado	X		

¹⁶Cuadro 3.11- Elaborado por los autores de este estudio (USDA, 1990)(Hammeken, A. 2005).

3.4.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE IMPACTOS Y ASIGNACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS SEGÚN ACTIVIDADES BÁSICAS

A continuación se muestra en el cuadro 3.12 una tabla desarrollada en función de las distintas etapas que comprende el proyecto, como son la preparación del sitio, construcción y fase de operación. Cada una de estas etapas se evaluará en función de los elementos que pueden verse afectados, considerando dentro de ellas la mayor cantidad de aspectos relacionados a estos, de tal forma que la descripción y la asignación de los pesos específicos sea una tarea fácil de realizar y de analizar por terceros.

Antes de asignar los pesos específicos a cada uno de los elementos que se evaluarán, es necesario adoptar un criterio. En este caso nos guiarímos según la naturaleza del impacto, ya sea benéfico o adverso, asignando valores para ello. Dichos valores se muestran a continuación:

1. Efecto Adverso.
2. Efecto Adverso Significativo.
3. Efecto Benéfico.
4. Efecto Benéfico Significativo.

Cuadro 3.12: Evaluación y descripción de impactos

EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS	VALOR
ETAPA DE PREPARACIÓN	
AGUA	
Por la actividad conjunta de la construcción del edificio E se tendrá un impacto adverso sobre la Calidad del Agua Superficial aunque el impacto no se considera de mayor magnitud debido a que el paso de agua no es constante.	1
AIRE	
Con las actividades de Despalme, Acondicionamiento de Caminos de Acceso y Operación de Maquinaria y Equipo se generarán Partículas Suspendidas Totales, provocando con ello un impacto adverso. Así mismo se elevará el Nivel de Ruido a consecuencia de estas actividades.	1
Durante el Acondicionamiento de los Caminos de Acceso y Operación de Maquinaria y Equipo, se generarán de Gases de combustión, lo que tendrá un efecto adverso significativo sobre la calidad del aire.	2
SUELLO	
Debido al Despalme y Acondicionamiento de los Caminos de Acceso se crearán impactos adversos, ya que se modificarán las Características físicas del suelo y el Relieve.	2
VEGETACIÓN	
Durante la actividad de Despalme se eliminará la Vegetación Herbácea, Arbustiva y Árborea, con lo que se provocarán impactos adversos en el terreno, sin embargo estos impactos no serán de gran importancia debido a que se contará con áreas verdes y se conservarán especies vegetales de importancia.	3
FAUNA	
Durante el Despalme, la fauna correspondiente a Invertebrados, Reptiles y Mamíferos los cuales han hecho de este sitio su hábitat recibirán un impacto adverso significativo debido a que esta actividad perturbará su hábitat de manera definitiva. Las Aves serán desplazadas temporalmente, en tanto se reforesta el área. Así mismo a diferencia de las aves las especies terrestres serán afectadas y desplazadas por el constante movimiento de vehículos y la maquinaria utilizadas en las actividades de Preparación del Sitio.	2
ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	
El Despalme es la base para que el uso de suelo pueda servir para una obra benéfica como lo es la planta de tratamiento de aguas, con la cual se obtendrá un beneficio significativo. Con la Operación de maquinaria y equipo se requerirá de mano de obra de la población aledaña, por lo que se beneficiará significativamente la Generación de empleo. Así mismo se beneficiará a la universidad por los ahorros en agua y por la aportación de un proyecto ecológico.	4
PAISAJE	
Por el Despalme se ocasionará un impacto adverso sobre los Aspectos estéticos, debido a que afectará en menor grado la visibilidad del lugar, sin embargo considerando que se reforestará el área afectada al término de su construcción, además que el humedal favorecerá al paisaje porque estará construido con plantas de ornato y vegetación que le dará una vista estética y agradable al sitio.	3
ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	
AGUA	
Con el Establecimiento del canal de captación de agua se tendrá un impacto benéfico significativo en la Calidad del agua superficial, debido a que se evitará que el agua de lluvia arrastre sólidos y partículas de suelo, así como también la dispersión del caudal de agua no tratada que pueda afectar al riego y al consumo de animales y ocasionalmente humanos.	4
AIRE	
En la Construcción de los tanques e infraestructura propia de la planta se generarán Partículas Suspendidas Totales, provocando un impacto adverso. Con la actividad de Excavación, relleno y compactación, así como la Operación de maquinaria y equipo elevarán el Nivel de ruido, por lo que ocasionará un impacto adverso.	1
Con la actividad de Excavación, relleno y compactación se generarán Partículas suspendidas totales y Gases de combustión provocando un impacto adverso. En la Operación de maquinaria y equipo se generarán Partículas Suspendidas, Gases de Combustión, con lo que se causará un impacto adverso significativo sobre la calidad del aire.	2
SUELLO	
La compactación de la zona sobre la que se desplantarán los distintos elementos del tren de tratamiento alterará la Calidad física química del suelo debido a que se modificarán sus condiciones naturales, provocando con ello un impacto adverso.	1
También se tendrá un impacto adverso sobre las Características físicas del suelo, puesto que con la cimentación se alterará su formación original.	
Otro impacto adverso significativo se presentará con la Excavación, relleno y compactación, que afectará el Relieve del suelo al alterar su formación natural.	2

VEGETACIÓN		
Debido a la actividad de excavación y compactación, la poca Vegetación herbácea y Arbustiva que no fue removida durante la preparación del sitio o el despalme, será extraída, con lo que recibirá un impacto adverso.	1	
FAUNA		
Con la Operación de maquinaria y equipo, la fauna que pudo haber permanecido en el predio después de la preparación del terreno como Invertebrados y Reptiles serán afectados por dichas actividades de manera adversa. Gracias al Establecimiento de cercado perimetral se evitará el desplazamiento de Mamíferos de los predios vecinos al sitio de disposición final, por lo que se tendrá un impacto benéfico. Por otro lado con el Establecimiento del Cercado Perimetral se provocará un impacto benéfico significativo ya que se evitará que ingrese fauna nociva.	3 3 4	
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS		
El límite y establecimiento del Uso de suelo se verá identificado con el Establecimiento de cercado perimetral del sitio, lo que ocasionará un impacto benéfico. Así mismo, se presentará el mismo impacto sobre la Salud de la población. La Contratación de mano de obra tendrá un impacto benéfico significativo, ya que contribuirá con la Economía local y la Generación de empleo, al crear fuentes de trabajo de personas cercanas al sitio de estudio.	3 4	
PAISAJE		
Con las actividades de Construcción de las partes que componen la planta, se tendrá como resultado un impacto benéfico significativo sobre el Aspecto Estético del sitio de disposición final ya que éste será bueno.	4	
ETAPA DE OPERACIÓN		
AGUA		
Como consecuencia de la adecuada operación de la planta se tendrán los límites de contaminantes permisibles en el agua tratada lo cual resultará en un impacto benéfico.	4	
AIRE		
En el proceso no se propone el uso de maquinaria que provoque ruido con lo cual se contempla un impacto benéfico significativo por utilizar procesos físicos, químicos y biológicos naturales. En la Descarga de agua tratada se disminuirá el nivel de Olores, llevando consigo que se origine un impacto benéfico significativo.	4 4	
VEGETACION		
Con el adecuado Manejo de impactos de operación sobre la Vegetación arbustiva y arbórea, se tendrá un impacto benéfico significativo.	4	
FAUNA		
Debido a que no se utilizará maquinaria ruidosa u otros tipos que afectaran la fauna del lugar no se causará que los Reptiles y Aves sean impactados de modo adverso, por lo que representa un impacto benéfico significativo. La constante Descarga de agua tratada creará Fauna positiva que causará un impacto benéfico significativo.	4 4	
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS		
Con el Registro del agua tratada se tendrá un control referente a la generación de aguas negras, así como una estimación de su composición, con lo que la universidad se verá beneficiada al existir un correcto tratamiento de agua residual y la información necesaria para el desarrollo de cualquier proyecto asociado que pudiera surgir; por otro lado se generarán fuentes de Empleo y se ofrecerán los Servicios que requiere la universidad para el consumo del agua para el riego. Con el tratamiento del agua residual se tendrán efectos benéficos significativos sobre la Población estudiantil y la Salud, ya que de esta manera no permanecerá en los cauces con el riesgo de llegar a los mantos acuíferos o generar enfermedades por el consumo de la misma ya sea de forma directa o indirecta. Con la Operación de maquinaria y equipo dentro de la planta, la Salud de los trabajadores estará protegida al evitarles que realicen actividades que los mantengan en contacto con el agua residual. El impacto en este aspecto será benéfico significativo. Por la Contratación de mano de obra necesaria durante toda esta etapa se tendrá como resultado la Generación de empleo y una contribución a la Economía local.	4	

¹⁷ Cuadro 3.12- Elaborado por los autores de este estudio. Consultoría Ingeniería Sistemas y Planeación 2001(Hammeken, A. 2005).

3.4.7. MATRICES DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS

En las matrices que se presentan en las Tablas 3.11 y 3.12 se muestra en primer plano aquellas actividades que identifican un impacto ambiental, sea este positivo o negativo, dicha identificación se realiza mediante el señalamiento de la intersección de la columna y el renglón correspondiente.

En la segunda matriz (cuadro 3.12) se cuantifica dicho impacto pudiendo ser este positivo o negativo, para lo cual se utilizarán los mismos pesos específicos mencionados con anterioridad.

Como podemos ver de la matriz de impactos obtenemos los resultados que se muestran en la tabla.

Cuadro 3.13: Resultados de la evaluación de impactos

Criterio	Valor	Total
Efecto Adverso	1	43
Efecto Adverso Significativo	2	19
Efecto Benéfico	3	13
Efecto Benéfico Significativo	4	53

¹⁸Cuadro 3.13- Elaborado por los autores de este estudio

Cuadro 3.14: Cuantificación de impactos ambientales

¹⁹Cuadro 3.14- Elaborado por los autores de este estudio.

3.5. ESTUDIO SOCIAL

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan algunos de los componentes sociales en el proyecto que se incluyen para analizar las situaciones sociales de la región donde se implementara la planta.

Se adopta una visión que cubra la perspectiva cultural e institucional de la universidad, con el fin de proponer alternativas que consideren la realidad de las poblaciones, regiones y organizaciones involucradas.

3.5.1. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS INVOLUCRADOS

Se consideran como involucrados a todos los grupos humanos, organizaciones e instituciones relacionados directa o indirectamente en las acciones previstas por el proyecto, así como de las instituciones nacionales, regionales o locales reguladoras o ejecutoras, organizaciones comunitarias, instituciones de apoyo y asesoría.

Se busca identificar y caracterizar a la población e instituciones de la zona, principalmente los involucrados directamente, para ello se implementaran los siguientes datos de referencia: contexto social, cultural, organizacional, de infraestructura y servicios.

Población total de la zona involucrada con el proyecto, en este caso la zona de población más cercana a la institución es la zona de corales.

3.5.2. CONOCIMIENTOS DE LOS INVOLUCRADOS ACERCA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Es necesario conocer el nivel de conocimiento que tienen los diversos involucrados acerca del tratamiento de las aguas residuales, a fin de proponer acciones de capacitación que hagan posible que las personas e instituciones involucradas realicen un adecuado manejo de los procesos.

Para ello se necesita informar al menos a cinco grupos principales:

- La comunidad (estudiantes, y comunidad externa que haga uso de las instalaciones de la universidad)
- Dirigentes y líderes
- Autoridades
- Empresarios (cualquier empresario que este participando directamente en el proyecto)
- Académicos

Algunos de los principales temas que requieren ser conocidos por los involucrados son:

- Características de las aguas residuales
- Tipos de tratamientos existentes para las aguas residuales
- Manejo de las aguas tratadas
- Consideraciones de gestión ambiental para con la planta
- Consideraciones sanitarias

3.5.3. NIVEL DE ACEPTACIÓN POR PARTE DE LOS INVOLUCRADOS

Las personas involucradas pueden tener percepciones distintas de lo que significa un sistema de tratamiento de aguas residuales. Estas percepciones, relacionadas con los riesgos potenciales, pueden conducir a la aceptación, a la indiferencia o al rechazo de las propuestas del proyecto.

Una vez propuesta la planta a implementar y antes de su construcción se requiere conocer opiniones por parte de los involucrados:

- La percepción de los diversos involucrados con respecto al sistema (como lo entienden, que opinan, que actitudes tienen frente a la idea, etc.)
- Su disposición a formar parte de una experiencia relacionada (quieren participar, rehúyen al tema, son indiferentes)
- El nivel de aceptación que expresan (aceptan su inclusión en la propuesta, proponen alternativas, etc.)

3.5.4. ASPECTOS INSTOTACIONALES

3.5.4.1. TENENCIA DE LA TIERRA

Existen dos tipos de tierras que se requieren para el sistema, las que son necesarias para la planta de tratamiento de aguas residuales y las que corresponden a la zona de uso productivo, o en este caso a la zona de riego.

En cualquiera de los dos casos se requiere conocer los siguientes aspectos para hacer viable y sostenible la propuesta del sistema:

- Tipo de propiedad o tenencia (estatal, privada, comunitaria, en uso, etc.): En este caso la propiedad tiene una tenencia estatal en la cual es posible implementar el sistema.
- Situación fiscal y legal de las propiedades en el momento que se planea instalar la planta.
- Existencia de conflictos actuales y potenciales: Actualmente no existen conflictos con el uso del espacio geográfico planeado, los conflictos potenciales son debido a posibles problemas ecológicos que pueda provocar la planta.
- Alternativas para la resolución de estos conflictos: En el estudio ambiental del presente proyecto, se presentan alternativas de mitigación para los potenciales conflictos que puedan ocurrir en el sistema.

3.5.5. ASPECTOS HUMANOS

3.5.5.1. EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DE VIDA DE LAS PERSONAS

La implementación de un proyecto ambiental demanda un cambio de costumbres en todos los involucrados, por lo cual, el proyecto impactará positivamente en la calidad de vida de las personas. Actualmente se han desarrollado diversos proyectos en la universidad como lo es “mejora tu entorno”, la construcción de eco huertos, la propuesta para la implementación de mingitorios ecológicos que transforman la ideología de los involucrados a una ideología apagada al cuidado al medio ambiente. El proyecto precisa que los involucrados tengan hábitos buenos que se relacionen con el manejo de productos biodegradables, el reciclaje, la cultura de no tirar el papel de baño a los w.c., usar eficientemente el agua, entre otros. Que favorece a la sociedad para utilizar de forma medida los recursos naturales.

3.5.5.2. SALUD

Se sabe que en las aguas residuales se albergan microorganismos que causan enfermedades (patógenos), incluyendo virus, protozoos y bacteria. Los organismos patogénicos pueden originarse en los individuos infectados o en animales domésticos o salvajes, de los cuales pueden o no presentar señales de enfermedad. La diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo y en la región latinoamericana. El agua no segura para beber y la contaminación a través del desecho inadecuado de aguas negras son responsables por la gran mayoría de estas muertes. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, se relaciona con las enfermedades infecciosas tales como el cólera, hepatitis, disentería, gastroenteritis y muchas otras.

Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías desarrollo, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. (Reynold, 2002)

Se pretende que para mitigar esta problemática se manejen controles de calidad en el efluente destinado para el riego de las áreas verdes de la universidad, asegurando la salud de los involucrados.

Capítulo 4

RESULTADOS

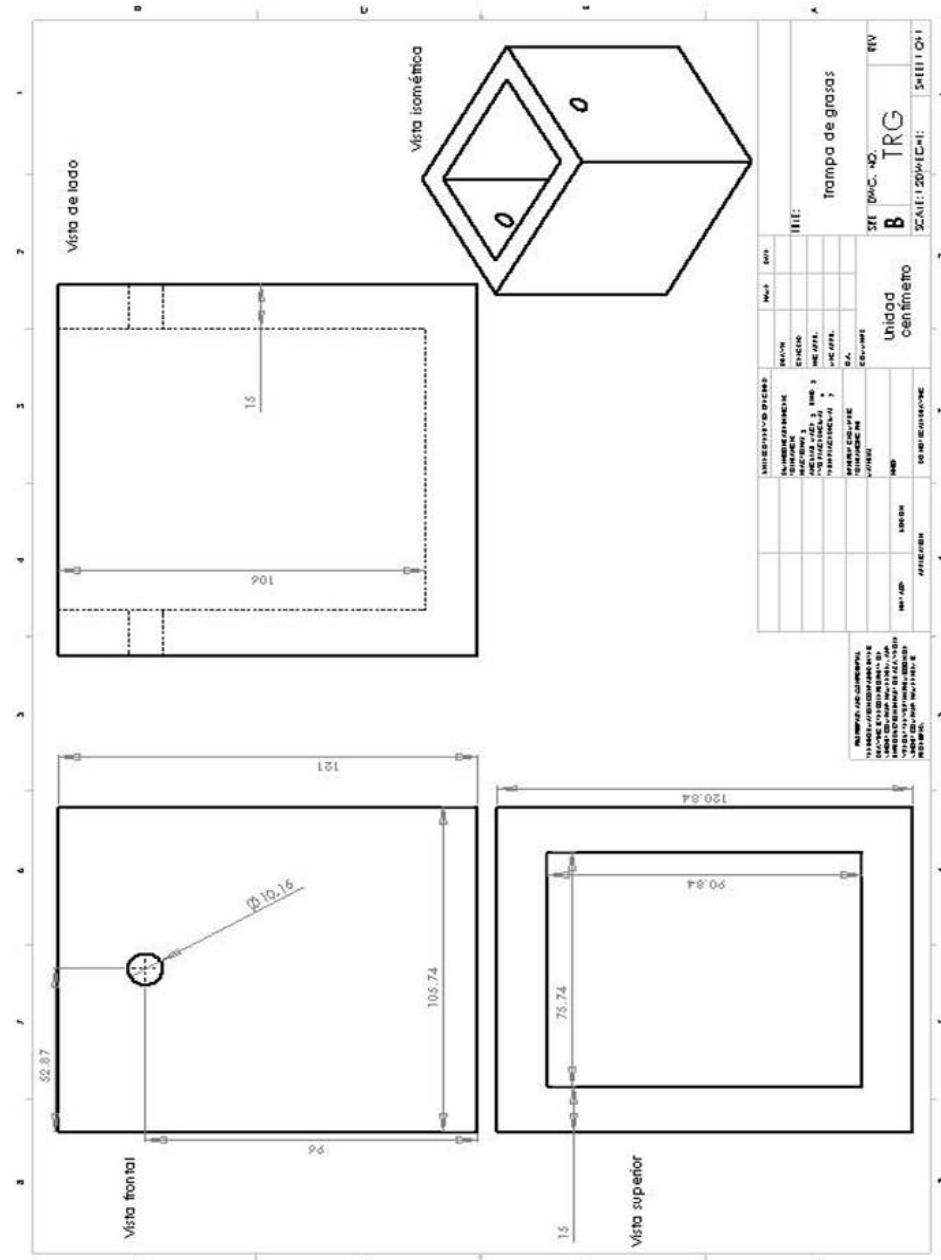
INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran los resultados llevados a cabo en el capítulo 3, donde se mostrara el sistema completo de tratamiento de agua tipo humedal artificial en el Edificio E de la Universidad del Caribe.

4.1. RESULTADO: TRAMPA DE GRASAS

El resultado del dimensionamiento de la trampa de grasas para el edificio E, con respecto a la trampa de grasas ubicada en el Edificio B, es la siguiente:

Figura 4.1: Trampa de grasas

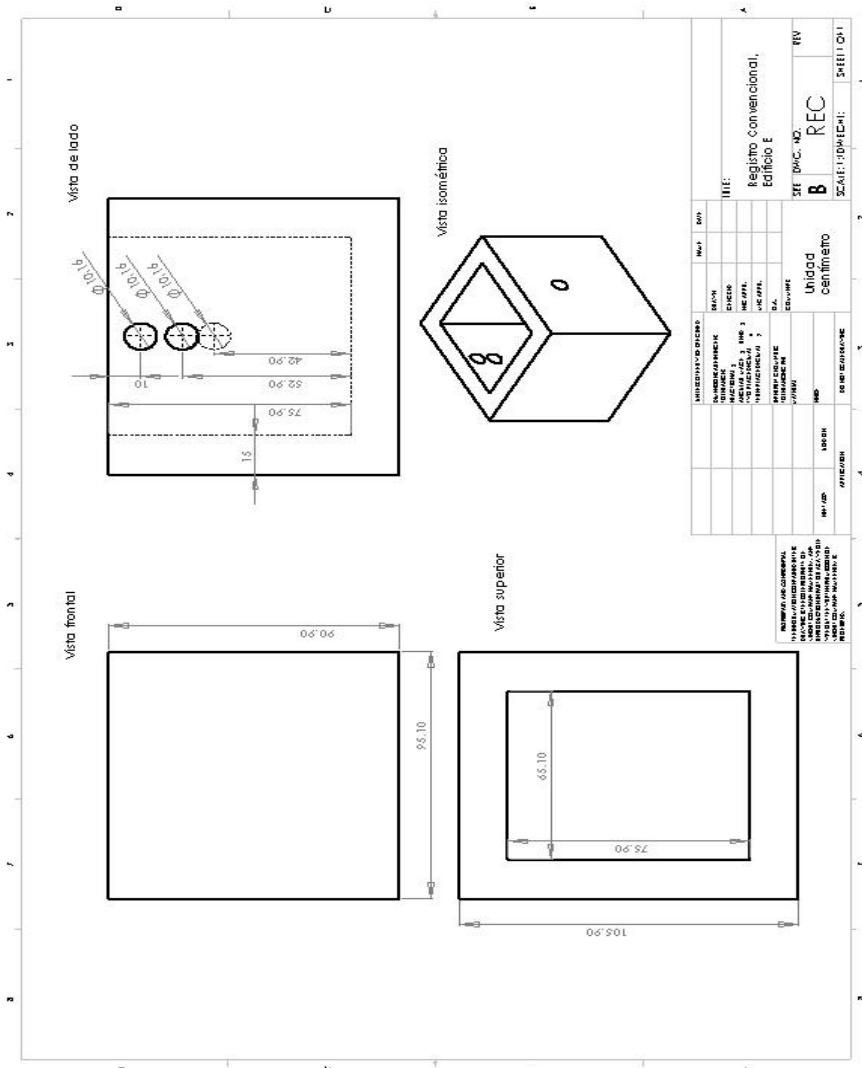


¹Figura 4.1- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.2. RESULTADO: REGISTRO CONVENCIONAL

El resultado del dimensionamiento del registro convencional para el edificio E, con respecto al registro convencional ubicada en el Edificio B, es la siguiente:

Figura 4.2: Registro convencional

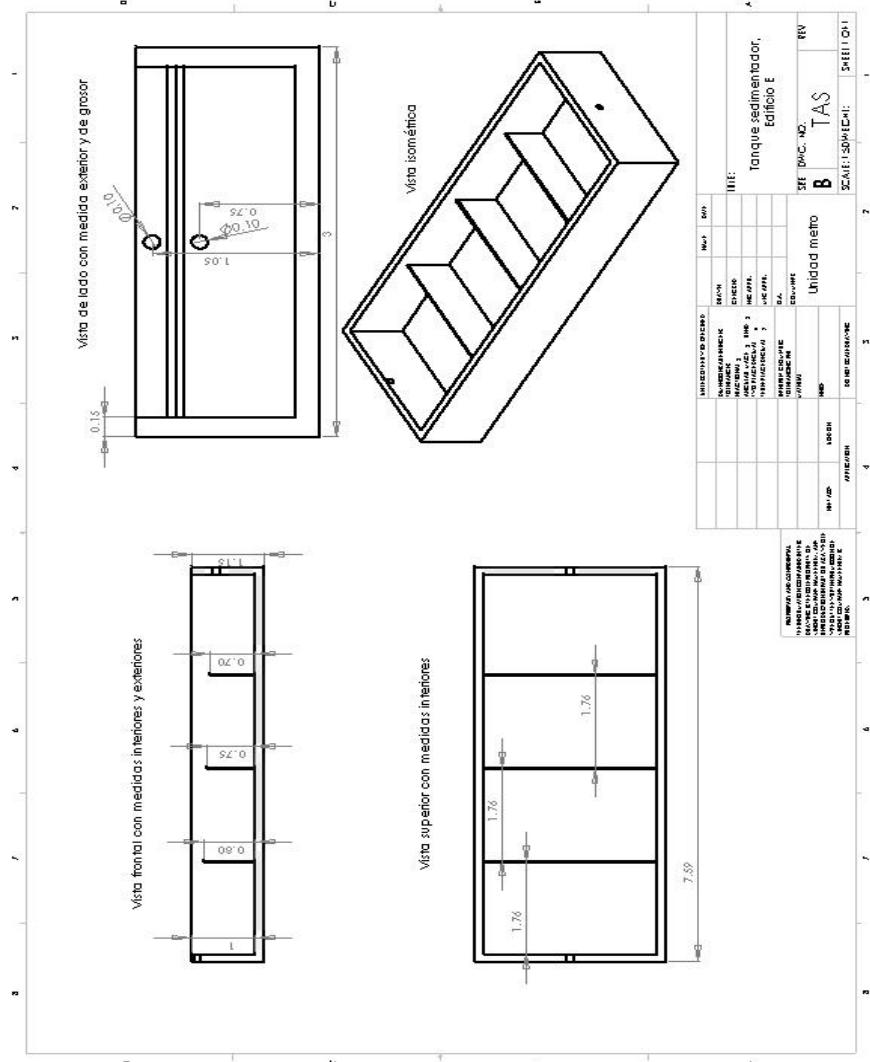


²Figura 4.2- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.3. RESULTADO: TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

El resultado obtenido en el cálculo de las dimensiones del tanque sedimentador, se presenta en la siguiente imagen:

Figura 4.3: Tanque sedimentador

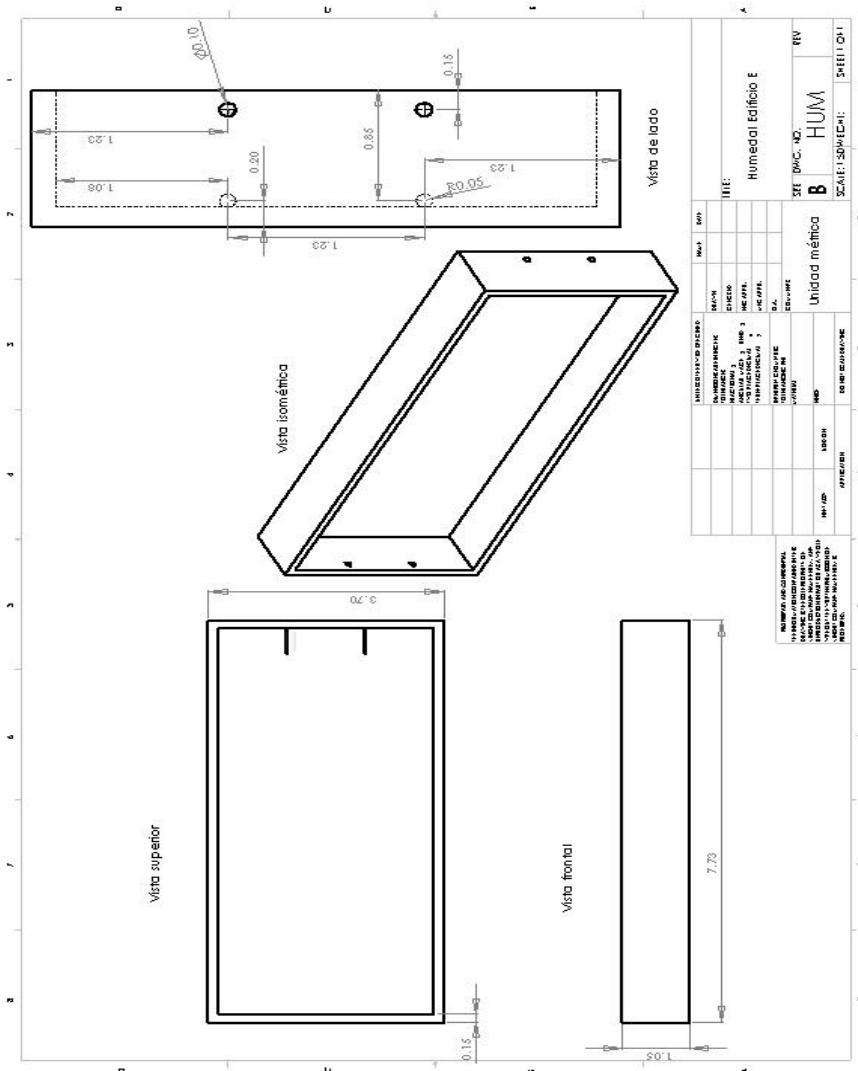


³Figura 4.3- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.4. RESULTADO: HUMEDAL

Con base al resultado de la prueba piloto, se dimensionaran las medidas para el cálculo de las dimensiones del humedal, representadas en el siguiente plano:

Figura 4.4: Humedal



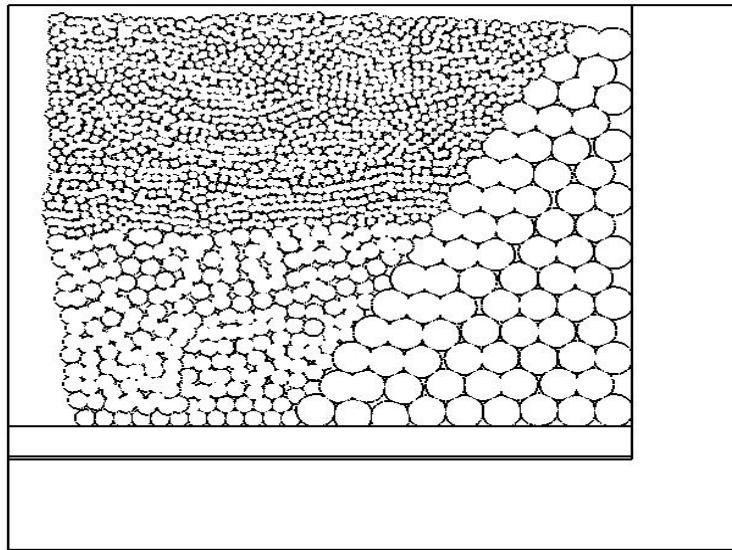
4

El cuerpo del humedal, como se mencionó en el punto 3.2.5.4, se compone de tres diámetros de grava. Donde la grava de $1/2in$ y $3/4in$ estarán distribuidas en partes iguales a lo largo y ancho del humedal, la grava o piedra de $1\frac{1}{2}in$ estará ubicada en la salida del humedal, que funcionara

⁴Figura 4.4- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

como filtro para evitar que las gravas de menor diámetro entren a la tubería y puedan obstruir el flujo del agua. El cual se muestra en la figura 4.5.

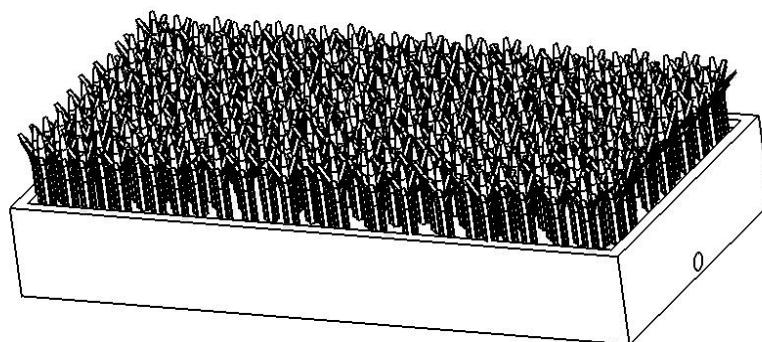
Figura 4.5: Cuerpo granular del humedal



5

La vegetación del humedal se integra de plantas locales capaces de resistir la humedad (mencionado en el punto 2.6.6), el cual se trasplantara para un rápido funcionamiento a la hora de implementarse.

Figura 4.6: Humedal propuesto en el Edificio E de la Universidad del Caribe



6

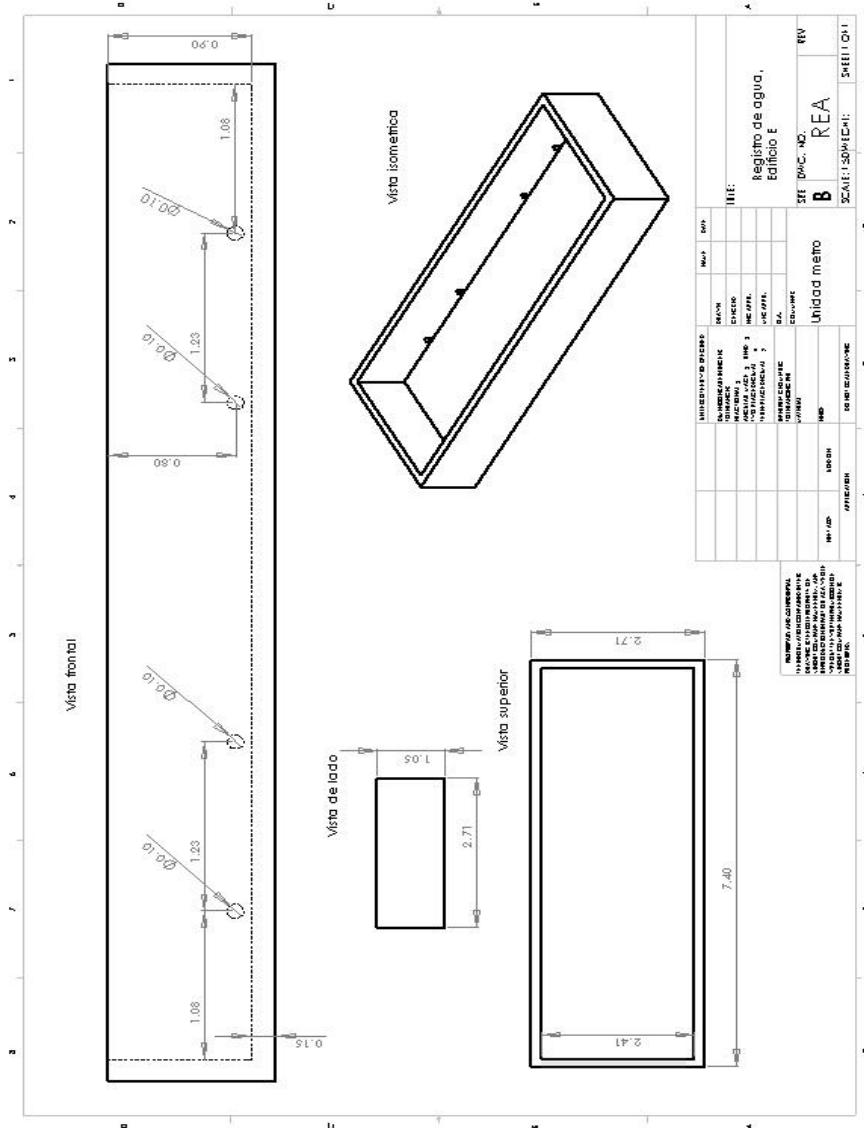
⁵Figura 4.5: Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

⁶Figura 4.6- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.5. RESULTADO: REGISTRO DE AGUA

Con base a la capacidad de retención de agua residual del humedal, se obtienen las dimensiones del registro de agua, el cual las medidas se expresan en el siguiente plano:

Figura 4.7: Registro de agua

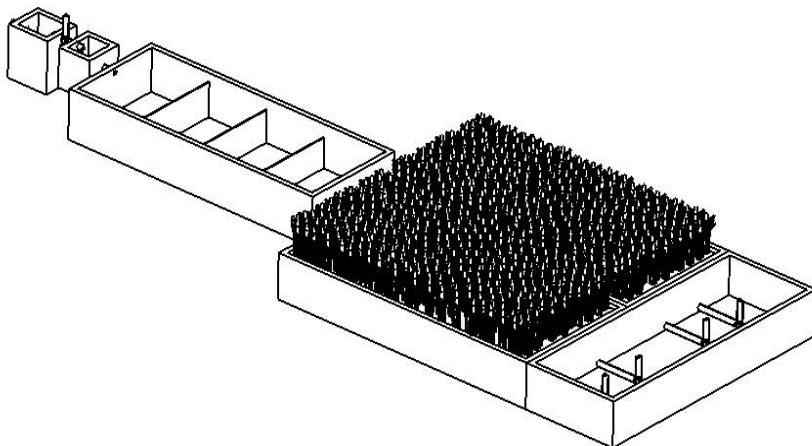


⁷Figura 4.7- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.6. RESULTADO: DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA

El proceso que se describe en el punto 3.2.1 y basándose en el dimensionamiento calculado de cada uno de los procesos, se representa la distribución del sistema de tratamiento de agua tipo humedal. Donde los primeros tres procesos son primarios, el cuarto proceso es el humedal y un quinto proceso en donde se almacena el efluente, para posteriormente usarse para el sistema de riego.

Figura 4.8: Sistema primario y humedal propuesto

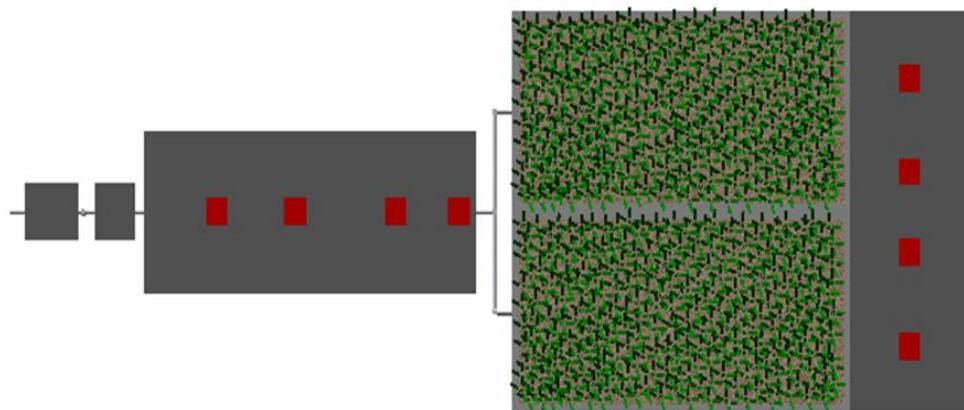


8

Vista de forma ya completa, los cuadros rojos que se aprecian en la siguiente figura, representan las tapas las cuales facilitaran el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema. En el proceso 1 y 2 se colocaron tapas de concreto, las cuales se levantan con facilidad para su mantenimiento. La distribución del efluente del tanque sedimentador al humedal cuenta con tubo en T que permite la distribución adecuada a lo ancho del humedal, que cuenta con dos entradas (como se muestra en la imagen). El registro de agua se encuentra pegado al humedal para una rápida salida de gravedad y almacenamiento del efluente.

⁸Figura 4.8- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

Figura 4.9: Sistema de tratamiento de agua residual por humedales

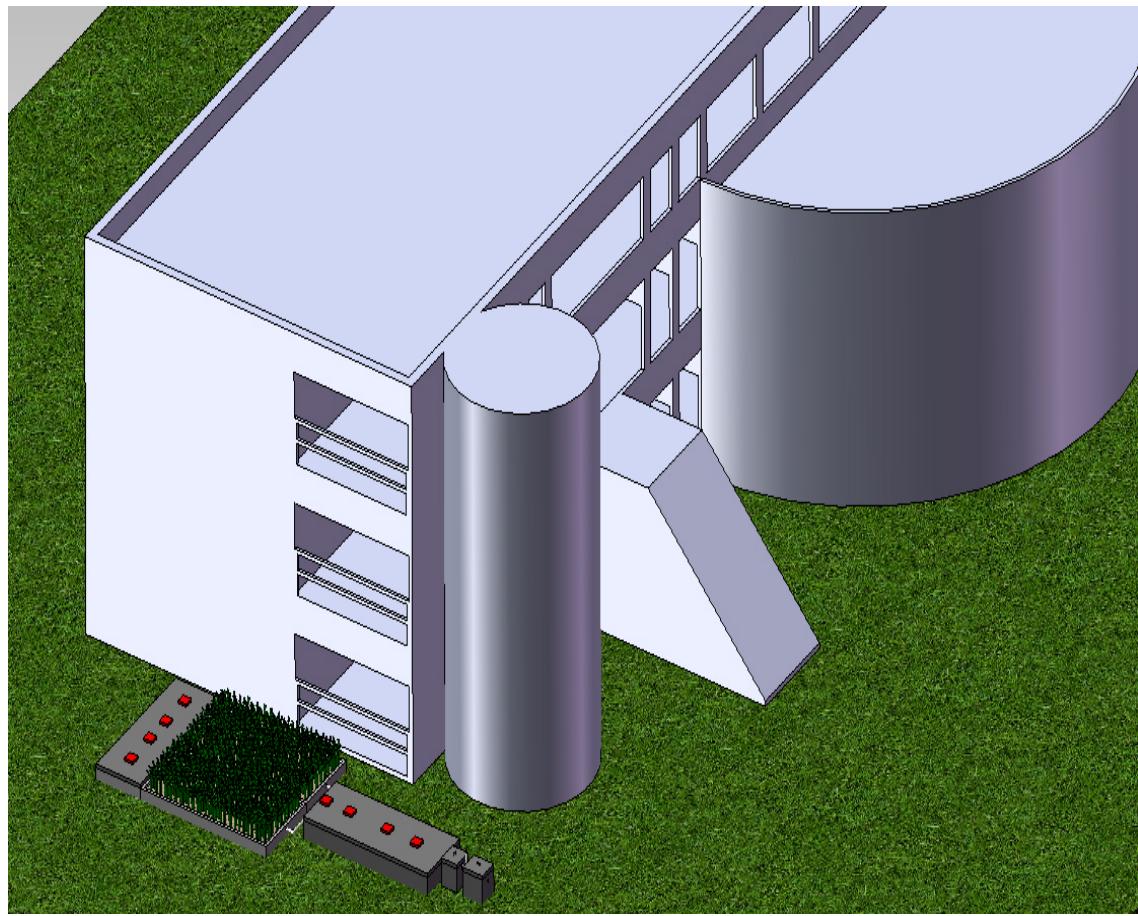


⁹Figura 4.9- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.7. RESULTADO: UBICACIÓN DEL SISTEMA

Tomando en cuenta el espacio físico especificado en el punto 3.2.6 y la distribución de los procesos, se ubica la implantación del sistema mostrada en la siguiente figura.

Figura 4.10: Ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales en el Edificio E



¹⁰Figura 4.10- Diseño elaborado en el programa SolidWorks 2011 por los autores de este estudio.

4.8. RESULTADO: ESTUDIO ECONÓMICO

Gracias al desarrollo del estudio económico, se observa que la Universidad del Caribe al ser una institución de gobierno sin fines de lucro necesitaría una aprobación de su presupuesto por parte del gobierno o el apoyo económico por parte de inversionistas o industrias privadas, esto para poder solventar los costos generados por la construcción e implementación del proyecto.

Se observa que el proyecto trae impactos económicos debido a los impactos ambientales que se pueden presentar, tanto positivos como negativos, y se puede determinar una rentabilidad económica que justificaría la implementación del proyecto si se mitigan los impactos ambientales negativos y se realiza la valoración de los positivos, esto se puede observar en el punto 3.3.2.1 de este estudio.

4.9. RESULTADOS: ESTUDIO AMBIENTAL

Como se puede observar en la matriz de impactos, resultaron 62 efectos adversos y 66 benéficos, de los cuales 19 fueron adversos significativos y 53 benéficos significativos, por lo que además de contar con más efectos benéficos que adversos, la determinación de los impactos y su evaluación tiene mucho mayor peso sobre los impactos benéficos que sobre los impactos adversos, los cuales aparecen en una cantidad considerablemente superior en la etapa de operación del proyecto.

A continuación se presentan las medidas de mitigación para los aspectos más importantes:

1. Suelo: Para contrarrestar los efectos adversos causados al suelo por las diferentes actividades realizadas en las distintas etapas se deberán aplicar las siguientes medidas de mitigación: Realizar el despalme solo en áreas necesarias para evitar la erosión eólica. Identificar las zonas de excavación y relleno para no alterar las condiciones fisicoquímicas del suelo salvo en los casos que sea estrictamente necesario Evitar la incorporación de grasas, aceites lubricantes, diesel, aditivos, gasolina y estopas en el suelo, mediante el mantenimiento adecuado de la maquinaria y equipo utilizados durante la construcción
2. Aire: Las actividades que pueden provocar un impacto adverso significativo sobre el factor aire, se encuentran las que involucran el movimiento de tierras, por lo que las etapas de preparación del terreno y construcción, la medida de mitigación será realizar estas actividades de manera secuencial conforme se avance en la obra, así mismo se deberá realizar estas actividades en fase húmeda.
3. Ruido: Para mitigar el incremento de ruido, los vehículos que transiten en el sitio y la maquinaria y equipo a utilizar deben contar con los sistemas silenciadores para atenuar la generación de ruido. Estas medidas deben de realizarlas los encargados del transporte, construcción y operación de la obra.
4. Vegetación: Se debe realizar el despalme solamente en las áreas necesarias para la construcción, con el fin de conservar la cubierta vegetal nativa.
5. Fauna: con el fin de mitigar la mayor parte de los impactos a la fauna de la zona se deberá considerar su importancia en cuanto a biodiversidad de la zona, por lo que en cada una de las diferentes etapas, se permitirá su huida hacia los predios vecinos, evitando la caza, el trampeo y la colocación de cepos envenenados, lo que permitirá su reintroducción a futuro.
6. Aspectos Socioeconómicos: Los trabajadores deben contar y utilizar el equipo de trabajo adecuado a los trabajos que desarrollen con la finalidad de evitar accidentes.

7. Paisaje: La medida de mitigación para este factor será el establecimiento de una cortina de árboles en la periferia del terreno, así como también el cuidado de jardines que incluya el proyecto.

CONCLUSIONES

Los humedales artificiales son sistemas simples de operar, con un bajo costo de mantenimiento y nulo consumo energético, manteniendo un equilibrio con el medio ambiente.

El tipo de humedal artificial que se eligió es el de flujo Subsuperficial, debido a su menor tamaño y su gran capacidad de tratamiento, debido a la disponibilidad de espacio para su implementación. Se eligieron los procesos primarios ya nombrados en el documento, debido a su fácil operación y mantenimiento, además de la gran facilidad de tratamiento de agua residual por gravedad. El tipo de flujo subsuperficial que elegimos es el horizontal, ya que el agua se estanca en el humedal y es aprovechado por los rizomas para el proceso de alimentación y oxidación de materia orgánica, además de su fácil mantenimiento.

El humedal propuesto tiene un tiempo de retención de agua de 3 días con 5 horas, esto dependiendo de la cantidad de depuraciones que se lleven a cabo en este edificio.

El tipo de vegetación propuesta para el humedal son los helechos, las plantas de ornato, y lirios, debido a su gran compatibilidad con la zona, además de su resistencia a la humedad y de su elegante vista, todo esto basándonos en el humedal del Gran Oasis Riviera Maya, donde la vegetación que contenía le daba una buena apariencia reflejado a la vista del público como un jardín.

Los diseños y entradas y salidas de los procesos están abiertos a cambios dependiendo del encargado de la obra. Con la implementación de este sistema de tratamiento de agua residual, la Universidad del Caribe se consideraría como una institución con altos valores naturales y conservadora de zonas protegidas situadas alrededor cuyos ecosistemas se beneficiarían notablemente.

Se profundizó poco en el estudio económico porque el proyecto está pensado para resolver una problemática ambiental y social dentro de la universidad, no tiene como fin sacar lucro del mismo, al estudiar la planta cuidadosamente se evaluó el proceso, diseño y selección de los materiales para asegurar que opere por medio de procesos naturales que aseguren ahorros para la inversión inicial y costos del mantenimiento para la planta. En caso de que se requiera tratar todas las descargas de la universidad, se puede aumentar el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

Con el desarrollo de este estudio se pudo concluir que la planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal se justifica como un proyecto sustentable, ya que no genera gastos grandes de inversión, además que no se generan gastos innecesarios y se recupera parte de la inversión con el ahorro de agua, lo cual también genera un ahorro económico, además el proyecto contribuye con el medio ambiente en el cuidado del agua, uno de los recursos que más escasean en las sociedades de hoy en día, además de la aportación social que aporta un proyecto ambiental como este, ya sea con la generación de organizaciones para el cuidado del medio ambiente dentro de la institución, así como las certificaciones que se puedan obtener con este tipo de proyectos.

RECOMENDACIONES

- Para la medición de la calidad del efluente destinado para riego, se propone la implementación de medidores multiparamétricos automatizados para controlar los parámetros que determinan la calidad del agua.
 - La implementación de un tanque homogenizador el cual sustituiría el registro convencional propuesto en el estudio.
 - La aplicación de la metodología planteada en el estudio económico, con los datos de la inversión real destinada al proyecto, esto para poder hallar la rentabilidad económica y financiera del proyecto.
 - Dependiendo del resultado del estudio de CRETIB mencionado en el estudio ambiental, decidir si se contrata a una empresa externa para el tratamiento de los lodos o si se manejan internamente para el uso como composta.
 - Creación de un grupo conformado por estudiantes de la universidad, para difundir las medidas que se deben tomar para contribuir en el cuidado de la planta de tratamiento.
 - Dimensionar la planta para cubrir las descargas de aguas residuales de toda la Universidad.
 - Comercializar el excedente de plantas que habitan en el humedal.

Bibliografía

- [1] AKVpedia. (1 de Marzo de 2011). Humedal artificial de flujo Horizontal subsuperficial. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de http://www.akvo.org/wiki/index.php/Humedal_Artificial_de_Flujo_de_Horizontal_subsuperficial
- [2] Arcos, R. C. (5 de MAYO de 2003). Remocion de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales en la comunidad de Sta. Maria Nativitas Texcoco Edo. de Mexico. Estado de Mexico, Delegación Iztapalapa, Mexico D.F.
- [3] Arreghini, S. (Octubre de 2010). Plantas acuaticas (macrofitas). Recuperado el 17 de Septiembre de 2011, de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/PlantAcuat.htm>
- [4] Arrollo, W. (Marzo de 1997). Water Resources Research Center. Recuperado el 16 de septiembre de 2011, de <http://ag.arizona.edu/azwater/arroyo/094wet.html>
- [5] Canadá John R. 1979, Técnicas de análisis económico para administradores e ingenieros, New Jersey, U.S.A. Editorial Diana.
- [6] Casas, J.C., Ceballos, L., Montoya, J., Morato, J. (2010). Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrofitas (Base de datos EBS-CO, PDF). Colombia. Escuela de ingeniería de Antioquia, Medellín. Disponible: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=19&sid=ac003d6b-7201-480a-b8be-0e234aa645d8%40sessionmgr15>
- [7] Castaño, J. (Febrero de 2011). Evaluación hidrodinamica de humedales construidos a escala de laboratorio. Pereira, Uruguay.
- [8] Ch, M. (2006). Baratos y faciles de operar, ofrecen una alternativa al alcance de industriasles, agricultores, ganaderos y hasta pequeñas ciudades para purificar el liquido y reutilización. Humedales artificiales para limpiar agua sucia, 27-29.
- [9] Comisión Nacional del Agua, actualización: 2008. (En línea) Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Ley_Aguas_Nacionales.pdf
- [10] Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable. (noviembre de 1996). Desarrollo sustentable. America Latina.
- [11] Consultoría Ingeniería Sistemas y Planeación (2001) “Manifestación de Impacto Ambiental Particular” Proyecto de disposición final de residuos, México.

- [12] Cortijo, R. A. (19 de Noviembre de 2004). Aplicación de tecnologías de bajo coste para la depuración integral de agua residual en pequeños municipios de la comunidad de castilla y leon. Madrid, España.
- [13] Delgadillo, O., Camacho, A., Fernandez, L. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Nelson Antequera Durán. (En linea). Disponible en: http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/dep_aguas_residuales.pdf
- [14] Emision. (21 de julio de 1999). Humedales artificiales. Barcelona, España. (En linea). Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/50158007/humedales-aritificiales>
- [15] Environmental Protection Agency EPA. (8 de Septiembre de 2011). Folletos informativos de tecnología de aguas residuales de la EPA. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de <http://hwww.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1997>
- [16] Estrada, I. (16 de Mayo de 2010). Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial para remoción de metales pesados en aguas residuales. Pereira, Perú. (En linea). Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/333918E82.pdf>
- [17] Fernandez, J. (1998). Humedales artificiales para depuración. En Manual de fitodepuración (págs. 79-89). Barcelona, España: Continental S.A de C.V. (En linea). Disponible en: <http://coepsa.com.ar/Temas%20ambientales/macrofitas.pdf>
- [18] Gaecía, J. M. (1 de Abril de 2005). Interempresas: Reciclaje y gestión de residuaos. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de <http://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/10753-Humedales-construidos-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales.html>
- [19] Giacoman, g. T. (2010). Humedales artificiales. Fomix-Campeche, revista, pag. 6-11. (En linea). Disponible en: http://www.fomixcampeche.gob.mx/documentos/articulos_05/FOCARE%205_humedales.pdf
- [20] Gonzales, O. (2005). Remoción de nitrógeno y fosforo en humedales con flujo subsuperficial horizontal. (Base de datos EBSCO, PDF). Ingeniería hidráulica y ambiental. Disponible en: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=001094b1-9868-4a7e-9aa4-525082d3b64e%40sessionmgr11&vid=4&hid=21>
- [21] Guia educativa. (Febrero de 2010). Tecnología apropiada: agua. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de <http://www.selba.org/EspTaster/Ecologica/Agua/DepurHumedArtif.html>
- [22] Hardenbergh W. A., Edward B. Rodie, 1966 Ingeniería sanitaria, México D.F. Editorial Cecsa.
- [23] Ibidem. (1987). Tratamiento de aguas residuales. En E. Rodie, Ingenieria Sanitaria (págs. 86-104). México D.F.: Continental S.A. de C.V.
- [24] Islena, E. (2010). Monografía sobre humedales artificiales de flujo superficial (HAFSS) para la remoción de metales pesados en aguas residuales. Pereira: Universidad Tecnológica.
- [25] Jiménez Cisneros, Blanca, 2001 La contaminación ambiental en México. México D.F. Editorial Limusa.

- [26] Lara, J. (mayo de 1999). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales. Barcelona, España. (En linea). Disponible en: <http://www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf>
- [27] Lлага, A. G. (13 de Junio de 2006). Diseño de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. San Marcos, Perú.
- [28] Llorens, E. (17 de mayo de 2007). Humedales construidos para el taratamiento de aguas: criterios de diseño y construcción. barcelona, barcelona, España.
- [29] Metcalf & Eddy. (1996). Inc. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. México: Tercera edición. Volumen 2.
- [30] Moya, M. y. (agosto de 2000). Diagnóstico microbiológico de los tanques de ecualización, acidificación y corriente de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera de Bogotá. Bogotá, Colombia.
- [31] Nebel y Wright, 1999, citados por CICEANA. (Septiembre de 2008). desarrollo sustentable. México, México.
- [32] Peña M., Ginneken, M., Madera, C. (17 de Octubre de 2003). Humedales de flujo subsuperficial: Una alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales domesticas en zonas tropicales (Base de datos EBSCO, PDF). Colombia. Universidad del Valle- Instituto CINARA- Santiago de Cali. Disponible en: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&hid=19&sid=ac003d6b-7201-480a-b8be-0e234aa645d8%40sessionmgr15>
- [33] Perez M., D. E. (11 de Mayo de 2009). Eficiencia de diferentes sustratos de filtros de suelo plantados en la depuración de aguas residuales domesticas. Lima, Peru. (En linea). Disponible en: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/files/Articulo%20No%206%20B43%20-%202008%20pp181-185.pdf>
- [34] Pierre, N. (12 de Julio de 2007). Historia del concepto de desarrollo sustentable. Italia.
- [35] Plan Nacional de Desarrollo. (2007). Sustentabilidad ambiental. Recuperado el 12 de Octubre de 2011, de Sistema internet de la presidencia: <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/sustentabilidad-ambiental.html>
- [36] Ramalho, R. (1996). tratamiento de las aguas residuales. Barcelona: Reverte.
- [37] Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Reverte S.A.
- [38] Ramírez, H. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 93-99.
- [39] Rodríguez, C. (2003). Humedales construidos. Estado del arte (1) (Base de datos EBSC, PDF). Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Disponible en: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=19&sid=ac003d6b-7201-480a-b8be-0e234aa645d8%40sessionmgr15>
- [40] San Fronfia Rramon, D. P. (1999). ingenieria ambiental: contaminacion y tratamientos. colombia: alfaomega grupo editor S.A de C.V.

- [41] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, actualización: 18 Noviembre 2011, por la Secretaría de fomento y normatividad ambiental, México D.F. (En linea) Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/leyesfederales.asp>,
http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nom_aguas_residuales.aspx,
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-agua.aspx>
- [42] Setty, K. (junio de 2005). Manual de construcción: Humedales construidos para el tratamiento de aguas negras. California, Estados Unidos. (En linea). Disponible en: http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasNegras.pdf
- [43] Villarroel, C. M. (Abril de 2005). Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial. Lima, Perú. (En linea). Disponible en: http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/III/3/3.3.15.pdf
- [44] Yocum, D. (junio de 2005). Biofiltración, Manual de diseño: Humedal construido para el tratamiento de las aguas Grises. California, Estados Unidos. (En linea). Disponible en: http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasGrises.pdf

Índice de cuadros

2.1. Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrofitas	19
2.2. Características de los Humedales Artificiales	20
2.3. Comparación entre los diferentes flujos de humedales	21
2.4. Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial	22
2.5. Consideraciones de ubicación para los tipos de humedales artificiales	23
2.6. Características de las especies más utilizadas en Humedales Artificiales	25
3.1. Tipos de accesorios donde se produce el agua residual en la Universidad del Caribe	31
3.2. Total de accesorios donde se produce el agua residual de la Universidad del Caribe	31
3.3. Posible cantidad de accesorios de depuración de agua residual en el Edificio E	32
3.4. Comparación de accesorios de uno de los edificios ya existente y el nuevo Edificio E	33
3.5. Comparación de accesorios del Edificio B y el nuevo Edificio E	34
3.6. Distribución de medidas interiores del tanque de sedimentación	35
3.7. Altura de las paredes de separación dentro del tanque sedimentador	35
3.8. Medidas interiores del humedal propuesto	37
3.9. Medidas interiores del humedal propuesto con los tres tipos de grava	38
3.10. Tabla de costos de los materiales	48
3.11. Lista de control para evolución de impactos	55
3.12. Evaluación y descripción de impactos	59
3.13. Resultados de la evaluación de impactos	61
3.14. Cuantificación de impactos ambientales	62

Índice de figuras

3.1. Criterios de Sustentabilidad	28
3.2. Espacio físico para la implantación del sistema	40
3.3. Plano general de la universidad del caribe	41
3.4. Plano del Edificio E de la Universidad del Caribe	41
3.5. Jerarquía de la normatividad aplicable, basada en la pirámide de Kelsen	51
4.1. Trampa de grasas	68
4.2. Registro convencional	69
4.3. Tanque sedimentador	70
4.4. Humedal	71
4.5. Cuerpo granular del humedal	72
4.6. Humedal propuesto en el Edificio E de la Universidad del Caribe	72
4.7. Registro de agua	73
4.8. Sistema primario y humedal propuesto	74
4.9. Sistema de tratamiento de agua residual por humedales	75
4.10. Ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales en el Edificio E	76
4.11. Captación de aguas residuales del GORM	91
4.12. Proceso Anaerobio del sistema de tratamiento de aguas residuales del GORM	92
4.13. Tanque Aerobio del sistema de tratamiento del GORM	92
4.14. Tanque de sedimentación del sistema de tratamiento del GORM	93
4.15. Humedal del sistema de tratamiento del GORM	94
4.16. Sistema de cloración del GORM	94

GLOSARIO

Aerobio: aplicase al ser vivo que necesita del oxígeno molecular para subsistir. Esto aplica para los procesos que ocurren en presencia de oxígeno, tal como la digestión de materia orgánica por las bacterias de oxidación.

Afluente: arroyo o río secundario que descarga en otro principal.

Airación: técnica que se utiliza en el tratamiento de aguas que exige una fuente de oxígeno, conocida comúnmente como purificación biológica aeróbica del agua.

Anaerobio: se aplica para los seres vivos que pueden vivir con la ausencia casi completa o completa de oxígeno.

Anóxico: compuestos que están pobres de oxígeno libre.

Compuestos refractarios: plaguicidas, plásticos, detergentes, residuos industriales y aceites

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno. Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación.

Decantación: es un método físico de separación de mezclas heterogéneas, estas pueden ser formada por un líquido y un sólido o por dos líquidos.

DQO: Demanda Química de Oxígeno. Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación.

Descarga: acción y efecto de descargar. La liberación de contaminantes que fueron capturados por un medio de filtración.

Desnitrificación: Oxidación de la materia orgánica por las bacterias.

Electrolisis: es el proceso para separar los elementos de un compuesto por medio de la electricidad.

Erosión: es el desgaste que sufre la superficie de la tierra por la acción de las fuerzas naturales.

Impermeabilización: es la protección contra efectos que el agua puede causar a una edificación o construcción.

Lodos: Son lodos sedimentados de las aguas residuales crudas previamente agitados en la presencia de abundante oxígeno atmosférico.

Macrofitas: plantas acuáticas

Nitrificación: proceso biológico, durante el cual las bacterias nitrificantes convierten el amoníaco tóxico en nitrato para disminuir su efecto dañino. Esto es comúnmente utilizado para eliminar sustancias de nitrógeno de las aguas residuales, pero en los lagos y pantanos esto ocurre de manera natural.

Remoción: es el acto o efecto de remover o sustraer algo de un lugar o cosa.

Rizomas: son formaciones de reserva constituidas a partir del tallo de las plantas, crecen paralelos al suelo y presentan más de una yema por estructura. Se pueden dividir en trozos que contengan una yema cada uno.

Yema: pequeña masa de tejido vegetativo de la que se pueden formar nuevos órganos o una planta completa.

ANEXOS

A. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL HOTEL GRAN OASIS RIVIERA MAYA

El GORM cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales, la cual es ayudada por sistemas primarios, secundarios y terciarios para la calidad del efluente. Estos sistemas son convencionales debido a la gran cantidad de volumen de agua residual que este hotel produce, ya que actualmente cuenta con 300 habitaciones, teniendo un total de 365 WCs y 340 lavamanos en general. Por lo que para ser más eficiente el tratamiento de aguas residuales, utilizan bombas de agua de diferentes Hp, para poder trasladar el efluente en las siguientes etapas y mantenerlo en flujo constante.

El primer proceso primario es un registro de captación, en donde se almacena el agua residual en donde se asientan los lodos. Por gravedad pasan al tanque homogenizador, el cual cuenta con dos bombas que mantienen en movimiento el flujo del agua y conducen a los procesos secundarios.

Figura 4.11: Captación de aguas residuales del GORM



11

Los procesos secundarios del GORM. El primer proceso secundario es el anaerobio. En este proceso se lleva a cabo la digestión de los lodos. El agua residual se estanca en el tanque anaerobio

¹¹Fotografía tomada en el Hotel Gran Oasis Riviera Maya por los autores de este estudio.

y conforme va subiendo el nivel del agua esta entra a unas canaletas que las transportan al segundo proceso secundario.

Figura 4.12: Proceso Anaerobio del sistema de tratamiento de aguas residuales del GORM



12

El segundo proceso secundario es el tanque aerobio, en el cual el agua efluente es conducido por canaletas el cual se llenan y rebosan la canaleta, haciendo que el efluente caiga a unas tiras de fibra de vidrio el cual contiene bacterias, estas filtran el efluente y caen a otro pequeño tanque donde también se encuentran bacterias que oxidan los lodos. En la parte más baja se encuentra una bomba de agua el cual por medio de tuberías suben nuevamente el efluente a unas regaderas ubicadas en la parte superior del tanque y realizan nuevamente el proceso. Cuando el agua en el tanque pequeño ubicada en la parte baja llega a un nivel se prende por sensores una bomba que conduce el efluente al tercer proceso secundario.

Figura 4.13: Tanque Aerobio del sistema de tratamiento del GORM



13

¹²Figura 4.12: Fotografía tomada en el Hotel Gran Oasis Riviera Maya por los autores de este estudio.

¹³Figura 4.13: Fotografía tomada en el Hotel Gran Oasis Riviera Maya por los autores de este estudio.

El tercer proceso secundario es el tanque de sedimentación, el cual cuenta con 3 cuchillas que regulan el flujo del agua, en donde la parte baja se depositan los residuos que no se hayan podido atrapar en los procesos anteriores, donde el efluente cuando pasa los niveles de la primera cuchilla pasa a la segunda cuchilla, cabe de resaltar que las tres cuchillas cuentan con diferentes alturas, para que gravedad y decantación se estanque los residuos y el efluente pase de sección a sección. En la tercera sección en la parte baja de encuentra una salida con una llave el cual abre el encargado del mantenimiento del sistema para que los lodos o residuos que no se pudieron desintegrar al registro de agua residual, para repetir el proceso. Cuando el efluente llega a un nivel salen del tanque de sedimentación y por gravedad es conducida al biodigestor o humedal artificial.

Figura 4.14: Tanque de sedimentación del sistema de tratamiento del GORM



14

El biodigestor o humedal cuenta con diferentes diámetros de grava, con plantación de hidrofitos, plantas de ornato y plantas típicas de la zona. El humedal con el que cuenta el GORM es un sistema de subsuperficial SFS, de flujo horizontal, en donde las gravas funcionan como filtros y las raíces de las plantas realizan el proceso biológico. El humedal o biodigestor es de gran tamaño pensado en las lluvias que suelen haber por temporadas, esto para evitar el rebosamiento del agua en el humedal. Cuenta con 3 salidas en diferentes alturas, la cuales las abren dependiendo la demanda de que tenga en su momento el hotel con respecto a sus clientes. Por lo que posteriormente el efluente entra a un sistema terciario.

¹⁴Figura 4.14: Fotografía tomada en el Hotel Gran Oasis Riviera Maya por los autores de este estudio.

Figura 4.15: Humedal del sistema de tratamiento del GORM



15

El proceso terciario utilizado en el sistema de tratamiento del GORM, es el de la cloración del efluente, para mantener la más alta calidad en el efluente. El sistema de tratamiento del GORM, cuenta con dos tanques de cloración, el primero se encuentra en la salida del biodigestor o humedal artificial, en donde el efluente llega, al igual que en los procesos anteriores, a un nivel y entra a los tubos de salida para posteriormente entrar a otro tanque de cloración, en donde el efluente esta ya tratada y lista para usarse. En el segundo tanque de cloración se encuentra una bomba que se activa por medio de sensores cuando el efluente llega un nivel para ser conducido a un registro de agua donde se almacena el efluente y posteriormente distribuirse en los campos y jardines con las que cuenta el GORM como riego.

Figura 4.16: Sistema de cloración del GORM



16

¹⁵Figura 4.15: Fotografía tomada en el Hotel Gran Oasis Riviera Maya por los autores de este estudio.

¹⁶Figura 4.16: Fotografía tomada en el Hotel Gran Oasis Riviera Maya por los autores de este estudio.

De esta forma el Hotel Gran Oasis Riviera Maya se mantenido como los más ambientales a nivel zona, además de cumplir con las especificaciones de las normas nacionales para el tratamiento de agua. El GORM se ha mantenido con este sistema durante 15 años. El control y mantenimiento preventivo se llevan a diario, debido al uso de muchas bombas. Se estima un tiempo de vida de casi 50 años, lo que representa que el GORM se mantenga como la más ecológica.