



T
6393
PER

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR

“Diseño de Lagunas de Estabilización Para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de las Industrias Procesadoras (Empacadoras) de Camarón”

TOPICO DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO ACUICULTOR

Presentado **por:**

FAUSTO SALVADOR PERALTA ESCOBAR

JACQUELINE ISABEL YUNGAN YUNGA

WELLINTON EMILIO RAMIREZ ALCIVAR

VICENTE ERNESTO

Guayaquil – Ecuador

Junio de 1999

AGRADECIMIENTO

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, por haber contribuido en nuestra formación profesional y sembrar la semilla del desarrollo, progreso y superación, para ponerla al servicio de la sociedad.

Un especial agradecimiento a nuestro Director de Tópico de graduación, Msc. Jerry Landívar Zambrano, persona a la cual le debemos su ayuda incondicional al aportar con sus ideas y experiencia para la culminación de este trabajo.

Además extendemos nuestro agradecimiento a los profesores de Ingeniería en Acuicultura, en especial a los Economistas Damián Rendón y Jaime Freire , por compartir sus conocimientos e impartir consejos de mucha utilidad para nuestra vida profesional.

Nuestro reconocimiento a las diferentes instituciones que brindaron su ayuda para la obtención de datos e información útil para la elaboración de este proyecto.

En general a todas las personas que durante nuestra vida estudiantil, de una u otra forma nos brindaron su apoyo para ir sorteando los obstáculos en el camino del aprendizaje.

Fausto, Jacqueline, Wellington, Vicente

A La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (**FAO**), por haberme concedido la beca de estudios, al Instituto de Investigaciones Pesqueras de Mozambique (**IIP**) por haberme dado la oportunidad de ampliar mi formación, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (**ESPOL**) por haberme permitido cursar la presente carrera en su plantel, a **mi familia** por haber tenido que soportar una larga separación mientras estuve en el exterior, y a todos los **ecuatorianos** que directa o indirectamente brindaron su apoyo para mi formación, mis más sinceros agradecimientos -- “MUITO OBRIGADO”

Vicente

DEDICATORIA

A Dios, ser supremo que guía mis pasos y me brinda la sabiduría necesaria para escoger el camino que me llevara a su encuentro.

A mi madre, por su abnegado cariño, constancia y sacrificio, por inculcarme sentimientos de honestidad, trabajo y deseos de superación , los cuales han sido pilares fundamentales de mi vida.

A Glenda, por su amor , comprensión y permanente apoyo en la consecución de mi carrera profesional

A mi familia, por haberme concedido su sincero apoyo y la confianza que depositaron en mi.

A mis amigos, en especial a Fabricio C., por su incondicional y desinteresado apoyo en todas las actividades desarrolladas en el transcurso de mi vida y en la consecución de mi título.

FAUSTO PERALTA ESCOBAR

DEDICATORIA

A DIOS, creador del Universo, por permitirme ser parte de este mundo en que vivimos , y de esta forma poder aportar con mi granito de arena en pos del mejoramiento de la humanidad.

A mis Padres, por haberme sabido inculcar en todo momento el concepto de superación con humildad, respeto, honestidad, y responsabilidad , gracias por educarme con amor y disciplina, por ser mis amigos y orgullo de mi vida.

A mi esposa, madre de mis hijas, quién ha sido mi soporte y apoyo para poder hacer frente a los obstáculos que se presentaron durante mi fase de estudio, a la mujer por brindarme su amor y comprensión, por qué sin ella no hubiera sido posible la obtención de esta meta.

A mis hijas, razón de mi vivir , regalo de Dios que como flores cuidaré a las cuales regaré con amor y comprensión y abonaré con la educación y disciplina que necesitan para hacer frente al mundo que van a vivir.

A mi familia, por qué siempre creyeron en mí, por el apoyo incondicional que me brindan, porqué de una u otra forma han sido soporte para que haya podido culminar con éxito mis estudios.

WELLINGTON EMILIO RAMIREZ ALCIVAR

DEDICATORIA

A mi protector:

JEHOVÁ, mi Dios. Supremo Artífice y creador; no solo de la tierra, sino también de las aguas que hay en ella. Porque fue él quien puso en movimiento el maravilloso ciclo del agua y todos los demás ciclos que hacen posible la vida en este planeta. Revelación 14:7

No obstante él dijo: cualquiera que beba de esta agua volverá a tener sed; pero el que beba del agua que yo le daré no **tendrá** sed jamás, sino que, el agua que yo le daré será en él una fuente que salte para vida eterna. San Juan 4: 14

A mi madre:	Natividad Yunga CH.
A mi padre:	Angel Yungán A.
A mis hermanos:	Marcos, Mario, Bolivar, Luis, Javier.
A la familia:	Eskandar Garibo a quienes siempre recordare y llevaré en mi corazón.
A mis amigos:	Ing. Julio Cesar Romero y María Anchundia.

A todos mis amigos y amigas, quienes me han brindado en todo momento sus palabras de impulso y estímulo para culminar con este trabajo académico en mi etapa estudiantil.

JACQUELINE ISABEL YUNGAN YUNGA

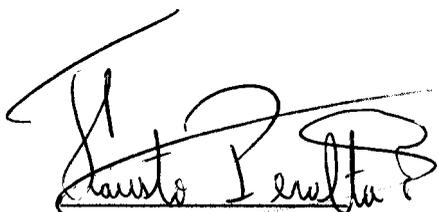
DEDICATORIA

A SIPHIWE, DIONISIO Y NETINHO

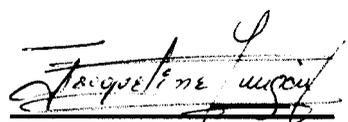
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos,
ideas y doctrinas expuestas en este Tópico de Grado,
nos corresponde exclusivamente;
y el patrimonio intelectual de la misma a la
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL,”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



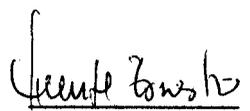
Fausto Peralta Escobar



Jacqueline Yungan Yunga

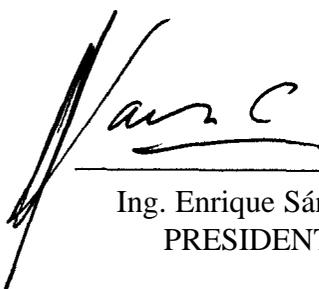


Wellington E. Ramírez Alcívar



Vicente Ernesto

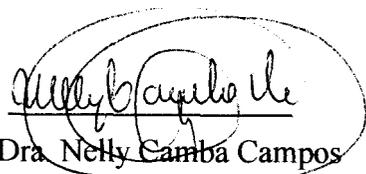
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Enrique Sánchez
PRESIDENTE



MSc. Jerry Landívar Z.
DIRECTOR DE TÓPICO



Dra. Nelly Camba Campos
VOCAL PRINCIPAL



Ing. Jorge Espinoza
VOCAL PRINCIPAL

RESUMEN

El presente Tópico de Grado, presenta un diseño conceptual de un sistema de depuración biológica de aguas residuales de empresas empacadoras de camarón por medio de lagunas de oxidación. El objetivo principal es el de reducir la carga orgánica (DBO_5), los sólidos suspendidos totales y la materia flotante del efluente, previo su vertido a los cauces receptores.

En la primera parte del trabajo, se expone la situación actual de la industria camaronera, y se hace la descripción de una empresa empacadora, indicando los procesos de producción y el origen y destino de los residuos generados.

La segunda parte hace una caracterización del **efluente** que se va a depurar, y presenta los fundamentos del sistema de tratamiento biológico mediante las lagunas de oxidación.

En la tercera parte, se diseñan las unidades de tratamiento seleccionadas de acuerdo a la caracterización del efluente. Las unidades incluidas son las siguientes: un sistema de desbaste, 2 lagunas anaerobias y una facultativa. El sistema permite una reducción del 94 % de la DBO_5 , 80% de los sólidos disueltos y la eliminación total de la materia flotante.

Se hace un análisis económico del proyecto, el cual indica que los costos a los que se incurre están a la altura de las empresas procesadoras, teniendo en cuenta la importancia del problema de contaminación.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	.IX
INDICE GENERAL.....	.X
INDICE DE TABLASXIII
INDICE DE FIGURASXIV
INDICE DE FOTOGRAFIASXV
ABREVIATURASXVI
INTRODUCCIÓN	XVII

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Generalidades sobre la industria empacadora del camarón en el Ecuador.. . . .	1
1.2 Consideraciones sobre la Empacadora.. . . .	3
1.2.1 Información sobre el proceso industrial.. . . .	3
1.2.2 Flujograma de los procesos de producción.. . . .	4
1.2.3 Información sobre el agua utilizada.. . . .	8
1.2.4 Información sobre las aguas lluvias.. . . .	10
1.2.5 Información sobre las aguas residuales domésticas.. . . .	10

1.2.6 Información sobre los residuos sólidos.....	11
1.2.7 Información sobre los efluentes líquidos.....	11

CAPITULO II

FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAJE

2.1 Caracterización del efluente.....	12
2.2 Criterios para el tratamiento de los efluentes industriales..	14
2.3 Factores que afectan el proceso de depuración biológica.....	15
2.4 Proceso de tratamiento de agua residual por lagunaje.....	18
2.4.1 Estudios previos a la construcción de lagunas.....	18
2.4.2 Caudal de diseño.....	20
2.4.3 Tipos de lagunas de estabilización..	20
2.4.3.1 Lagunas anaerobias.....	20
2.4.3.2 Lagunas facultativas.....	25
2.4.3.3 Lagunas aerobias..	31

CAPITULO III

DISEÑO DE LOS PROCESOS UNITARIOS

3.1 Sistemas y procesos unitarios seleccionados.....	34
--	----

	Pag.
3.2 Aspectos constructivos y funcionales de las lagunas..	34
3.3 Forma y construcción de los depósitos.....	35
3.4 Dimensionamiento de la Estación de bombeo.....	38
3.4.1 Cálculo de la altura dinámica total.....	38
3.4.2. Cálculo de la potencia de la bomba..	41
3.4.3 Dimensiones de la cámara de aspiración.	42
3.5 Dimensionamiento de las Lagunas Anaerobias.....	44
3.6 Dimensionamiento de las Lagunas Facultativas.....	48
3.7 Cálculo de movimiento de tierra.....	50
3.8 Resultados...de1 diseño.	52
3.9 Evaluación de la eficiencia del diseño.....	54
3.10 Análisis económico del proyecto.....	56
3.10.1 Costo de la unidad de pretratamiento.....	56
3.10.2 Costo del Sistema de Bombeo.....	56
3.10.3 Costo de construcción de las lagunas.....	57
3.10.4 Costo de Mantenimiento.....	57
3.10.5 Costo total de la obra.....	57

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
ANEXOS.....	.61
BIBLIOGRAFIA.....	.84

INDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1	Parámetros físico-químicos del efluente.....	.13
Tabla 2	Factores que influyen en la depuración por lagunas.....	.19
Tabla 3	Criterios para diseñar lagunas naturales en tres etapas.....	.33
Tabla 4	Volumen de tierra requerida para los muros.....	.52
Tabla 5	Características principales del sistema de tratamiento..	.53
Tabla 6	Características de diseño de las lagunas anaeróbicas.....	.54
Tabla 7	Características de diseño de las lagunas facultativas.....	.54
Tabla 8	Sistema de pretratamiento y bombeo.....	.55
Tabla 9	Eficiencia de los procesos unitarios.....	.56
Tabla 10	Características físicas del efluente.....	.71
Tabla 11	Parámetros químicos del efluente.....	.72
Tabla 12	Sales Disueltas.....	.72
Tabla 13	Minerales disueltos.....	.73
Tabla 14	Dureza, alcalinidad y acidez.....	.74
Tabla 15	Parámetros microbiológicos.....	.74
Tabla 16	Presupuesto global del sistema de tratamiento.....	.75
Tabla 17	Costo General de la Obra.....	.76

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Flujograma de los procesos de una empacadora.....	.
Figura 2 Balance Hídrico	9
Figura 3 Esquema de una laguna de estabilización.....	33
Figura 4 Representación esquemática de la relación simbiótica.....	32
Figura 5 Icono de Llamada..	62
Figura 6 Pantalla de inicio..	63
Figura 7 Selección del tipo de depurador.....	64
Figura 8 Tipo de Parámetros.....	64
Figura 9 Parámetros de diseño..	65
Figura 10 Tipo de depuradores.....	65
Figura 11 Diseño de los diferentes procesos unitarios..	66
Figura 12 Diseño del sistema de desbaste	66
Figura 13 Selección del tipo de lagunas..	67
Figura 14 Datos de diseño de la laguna anaeróbica..	67
Figura 15 Datos de diseño de la laguna facultativa.....	68
Figura 16 Diagrama de los muros de las lagunas.....	77
Figura 17 Corte Longitudinal de la laguna anaeróbica.....	78
Figura 18 Corte longitudinal de la laguna facultativa.....	78

INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
Fotografía 1	79
Fotografía 2.....	80
Fotografía 381
Fotografía 482
Fotografía 5.....	..83

INDICE DE ABREVIATURAS

A: Area

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DIGMER: Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ESPOL: Escuela Superior Politécnica del Litoral

h: Altura

IQF: Individual Quick Frozen

L/H: Largo/Altura

MIDUVI: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

OD: Oxígeno disuelto

pH: Potencial de hidrógeno

Q: Caudal

T: Temperatura

t: tiempo de retención

v: velocidad

V: Volumen

INTRODUCCIÓN

Los residuos industriales y domésticos de la mayoría de las ciudades se vierten directa e indirectamente en los ríos y en los estuarios.

Por mucho tiempo se creyó que estos cuerpos de agua eran capaces de admitir cantidades ilimitadas de **tales** desechos, sin perturbar el equilibrio ecológico de los organismos que los habitan. Actualmente se posee un mejor conocimiento de los efectos que estos ocasionan en los diferentes niveles tróficos de los ecosistemas **acuáticos**.

El crecimiento poblacional y el desarrollo industrial han dado lugar a que aparezcan desechos más complejos, **difíciles** de tratarlos y controlarlos, e inclusive de identificar su presencia en el agua.

La materia orgánica de los residuos domésticos y de ciertos procesos industriales, **tales** como la elaboración de los alimentos, papel y fibra sintética son considerados altamente tóxicos. Muchas veces se sedimentan y cubren el fondo de los ríos, causando perjuicios y migraciones de las poblaciones bentónicas. Otras veces se fertilizan las aguas con fosfato y nitratos originando los fenómenos de eutrofización que son difíciles de controlar. También la Demanda Bioquímica de Oxígeno puede superar las reservas, creando zonas **anóxicas** impropias para la vida de la mayoría de los organismos acuáticos. (Solorzano, 1989)

La protección del ambiente es una tarea vital para la sociedad actual. El reto, detener el deterioro progresivo, producto de la explotación incontrolada de los recursos naturales y la contaminación. Para evitar la contaminación es necesario realizar el tratamiento de los desechos, con la adecuada calidad. El costo bruto siempre será creciente de acuerdo con la calidad del proceso.

El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, dirigida hacia la industria empacadora exportadora de camarón, constituye la parte principal del sistema de colección, pues es aquí precisamente donde se elabora o se procesa el producto (agua industrial contaminada), convirtiendo el residual crudo en residual tratado hasta un grado tal, que al ser vertido no ocasione danos al individuo ni al medio ambiente.

Esta planta puede ser simple o compleja según las características del residual crudo, que obligue a usar menor o mayor cantidad de procesos unitarios para completar el proceso que ofrezca el fin deseado.

De esta manera, se estará conservando el recurso agua cumpliendo con la ley de reglamento de prevención y control de la contaminación ambiental y del **codigo** de salud, cuyo Decreto Supremo N° 374 fue expedido el 21 de mayo de 1976 y publicado en el registro oficial N°97 del 31 de mayo de 1976, y su finalidad fundamental es precautelar la buena utilización de los recursos naturales del país en pro del bienestar individual y colectivo.

De los artículos 18 y 19 de la mencionada ley de prevención y control de la contaminación ambiental, se establece el control sobre los residuos líquidos, la construcción, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Entre las normas para la preservación del medio ambiente tenemos el Plan Operativo para el manejo de Desechos que propone iniciar acciones concretas para alcanzar **aire puro, agua limpia y suelo sano**, como parte de las finalidades de las Políticas Básicas Ambientales del Ecuador, expedida en el decreto Ejecutivo 1802 (R.O. 456; 0 1, 06, 94), y del Plan Ambiental Ecuatoriano que contiene la propuesta de Políticas y Estrategias Ambientales para sectores y ecosistemas, entre ellas se menciona las de saneamiento de las aguas municipales, de manejo de desechos sólidos y de reconversión de procesos productivos industriales, mineros, agrícolas, de la construcción en general, las políticas aludidas también señalan el control de la emanación de gases de la combustión de fuentes móviles: automotores de trabajo y transporte acuático, **marítimo**, aéreo y particularmente, el terrestre.

Las instituciones a nivel nacional encargadas del control de las descargas industriales a los cuerpos receptores son el IEOS (actualmente MIDUVI), INERHI ó DIGMER.

Para las industrias empacadoras de camarón, las leyes ambientales a nivel internacional cada vez serán más rigurosas, y con mayor razón al ser un producto de exportación, el cual podrá ser comercializado si tiene un sello verde que es un simbolo que indica que el

producto, en su procesamiento de empaque no ha deteriorado el ecosistema, y ha cumplido con parte de las normas ISO 14000.

Por **tales** razones, el tópico se proyecta ha contribuir con la protección del ambiente, al tratar efluentes de la industria empacadora de camarón, reduciendo los parámetros de contaminación hasta los niveles exigidos por las autoridades de control ambiental (MIDUVI) y de esta forma continuar garantizando la supervivencia de la industria camaronera.

(“Porque el desarrollo sostenible es posible y más que posible es imprescindible”).

Los principales parámetros contaminantes que se reducirán en un nivel superior al 80% son la carga orgánica (DBO_5), los sólidos suspendidos totales y la eliminación completa de la materia flotante.

A pesar de existir diversos métodos de tratamiento de efluentes, es importante elegir aquel que garantice la mayor eficiencia de eliminación de contaminantes con costos reducidos de construcción y explotación. Uno de los métodos que cumple la condición anterior, es el uso del sistema de **lagunaje**, el cual es empleado para el tratamiento de aguas residuales industriales y mezclas de aguas domésticas e industriales, susceptibles de tratamiento **biológico**.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES SOBRE LA INDUSTRIA EMPACADORA DE CAMARON EN EL ECUADOR

Hoy en día el Ecuador es el mayor productor de camarón en cautiverio del Hemisferio Occidental y el segundo a nivel mundial. Posee una extensión de 145.295 hectáreas de piscinas camaroneras, ubicadas en las cuatro provincias costeras. Las exportaciones en 1998 generaron ingresos del orden de los 900 millones de dólares. La especie más cultivada es el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y en menor proporción el *L. Stylirostris*.

INFRAESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA

La industria camaronera cuenta con una excelente infraestructura que le ha permitido alcanzar liderazgo en los mercados internacionales. 89 empresas procesadores y exportadoras procesan aproximadamente 130.000 TM al año; 26 fabricas de alimento balanceado garantizan la correcta nutrición del crustáceo proporcionándole calidad; entre tanto 295 laboratorios de larvas abastecen a la industria, logrando que se dependa menos de la naturaleza. El constante trabajo de investigación en esta área ha permitido obtener productos de mejor calidad y mayor resistencia.

NIVEL DE EXPORTACIONES

Desde el inicio de la industria camaronesa, Estados Unidos ha sido el mayor consumidor, El Ecuador esta presente en este mercado con exportaciones que durante 1998, se ubicaron en el orden del 62% (Banco Central del Ecuador)

MERCADOS

A más de los Estados Unidos, Ecuador exporta su producto a 11 países europeos en un 25,3% del total de las exportaciones. En el segundo semestre de 1998 el volumen exportado fue de 115 millones de libras con ingresos de 367 millones de dólares (Banco Central del Ecuador, 1999).

Los suministros de camarón a los países orientales se ha incrementado significativamente, pasando del 0,1% del total exportado en el primer semestre de 1992 al 1,4% en el mismo periodo de 1998. China es nuestro principal comprador, le siguen Taiwan, Japón y Corea.

Ecuador ha diversificado mercados, actualmente suministra camarón a otros países de América, tales como: Argentina, Chile, Puerto Rico, México y Brasil.

CALIDAD Y PRESTIGIO

El camarón ecuatoriano es apreciado por su calidad. Para ello, las 68 empresas empacadoras han utilizado tecnología de punta, respaldada por la eficiencia en los controles

de calidad y en la aplicación de las normas sanitarias internacionales, lo que garantiza la calidad del producto.

El camarón ecuatoriano es comercializado en una amplia gama de presentaciones como son el camarón entero congelado, camarón cola, y últimamente se han incrementado las exportaciones con valor agregado: IQF, semi IQF, PPV, precocidos enteros, precocidos apanados, con cortes mariposas y en brochetas.

1.2 CONSIDERACIONES SOBRE LA EMPACADORA

La empacadora que se ha seleccionado para la aplicación del diseño conceptual de tratamiento de aguas residuales, tiene una capacidad de procesamiento promedio de 800 000 lbs/mes, con un consumo en energía eléctrica de 2400 kw/h y un consumo de agua diario de 140 m³. El área de la industria es de 20.000 m² y tiene proyectado ampliarse en 1300 m² para el año 200 1, actualmente se encuentra en funcionamiento.

1.2.1 INFORMACION SOBRE EL PROCESO INDUSTRIAL

Materias Primas y Productos Auxiliares

Materias Primas	Consumo / Mes
Camarón	800.000 lbs.
Agua	4200 m³

Productos Químicos	Consumo/Mes
Metabisulfito de sodio	1250 kg.

También se emplea cloro para la desinfección de pisos, mesones, maquinas de procesamiento, etc. en concentraciones que llegan hasta las 300 ppm.

1.2.2 DESCRIPCION Y FLUJOGRAMA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION

El procesamiento del camarón comprende las siguientes fases:

- Recepción de materia prima
- Pesado
- Lavado
- Descabezado
- Clasificación
- Empacado - pesado.
- Control de calidad
- Congelación
- Embalaje y almacenamiento.

Recepción. Durante este proceso se recibe el camarón proveniente de las fincas camaroneras propias del grupo y de otros productores del país.

Deshielo y lavado. En esta etapa se separan los materiales extraños que vienen con el camarón: peces, plásticos, lodo, etc.

Descabezado. El descabezado consiste en separar el céfalotórax (cabeza), del abdomen (cola) en el camarón. Este proceso se realiza en forma manual y semiautomática utilizando operadores que recogen el camarón y realizan la operación anteriormente descrita.

Clasificación. La clasificación por tallas se realiza en forma automática con la ayuda de tres clasificadoras: dos con capacidad para 2.000 lbs./h y una para 4.000 lbs /h. Para un desarrollo futuro de 5 años se tiene programado adquirir dos clasificadoras con capacidad para procesar 5.000 lbs. / h. Las clasificadoras constan de:

- Tanque receptor o tina de lavado.
- Bandas transportadoras en serie.
- Sistema de enjuague en forma de spray.
- Rodillos de clasificación. Estos separan las colas de camarón según el grueso del cuello.

Durante el procesamiento de camarón entero, en las tinas de lavado de las máquinas clasificadoras se agrega metabisulfito de sodio, que es un compuesto preservante.

Las colas de camarón clasificadas caen hasta las tolvas de descarga, y desde ahí, llegan hasta las bandas transportadoras. Los operadores (as) revisan la clasificación durante el trayecto en las bandas y separan los camarones que no corresponden a la clasificación preestablecida. A continuación los camarones son depositados en las respectivas cajas de empaque.

Empacado- pesado. En el empacado - pesado se controla el peso de todas las cajas mediante balanzas electrónicas. Además, se adiciona agua helada que evitará la deshidratación del camarón y el posterior congelamiento, proceso conocido como **glaceo**.

Control de calidad. Durante el proceso de empacado - pesado y después de este, los supervisores ejercen un control de calidad del producto, verificando que se cumplan las normas de calidad preestablecidas.

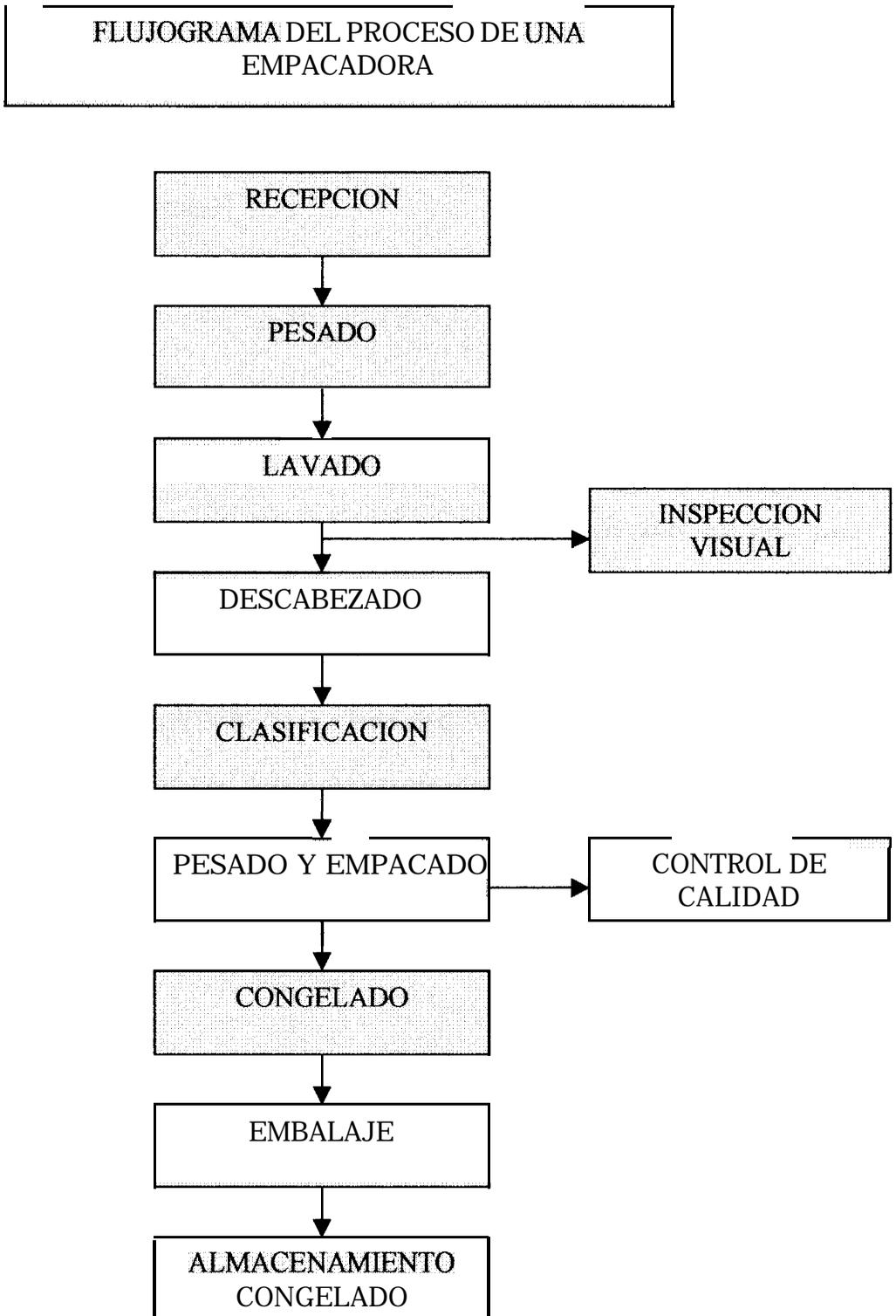
Congelación. El proceso de congelación se realiza en congeladores y túneles. Actualmente se encuentra en instalación un congelador rápido que permitirá realizar esta operación en dos horas.

Embalaje. Las cajas congeladas de una misma clasificación son puestas en cajas “master” y selladas para ser llevadas hasta el almacenamiento.

Almacenamiento. El almacenamiento consiste en guardar las cajas de camarones a una temperatura de -22°C hasta su comercialización.

En la figura 1 se presenta el flujograma del de los procesos en una empacadora de camarón.

Figura 1



1.2.3 INFORMACION SOBRE EL AGUA UTILIZADA.

Fuente. Existen dos fuentes de suministro de agua:

- Planta potabilizadora propia con capacidad para 80 m³ / día (y otra a ser establecida en el futuro con similares características).
- Tanqueros que se abastecen de tomas de agua de la red pública.

Reservas. Existe una cisterna con capacidad de almacenamiento de 320 m³.

Distribución. La distribución está conectada a un equipo hidroneumático que sirve para abastecer a las piezas sanitarias y al área industrial.

Usos y Consumo. Los usos son domésticos e industrial.

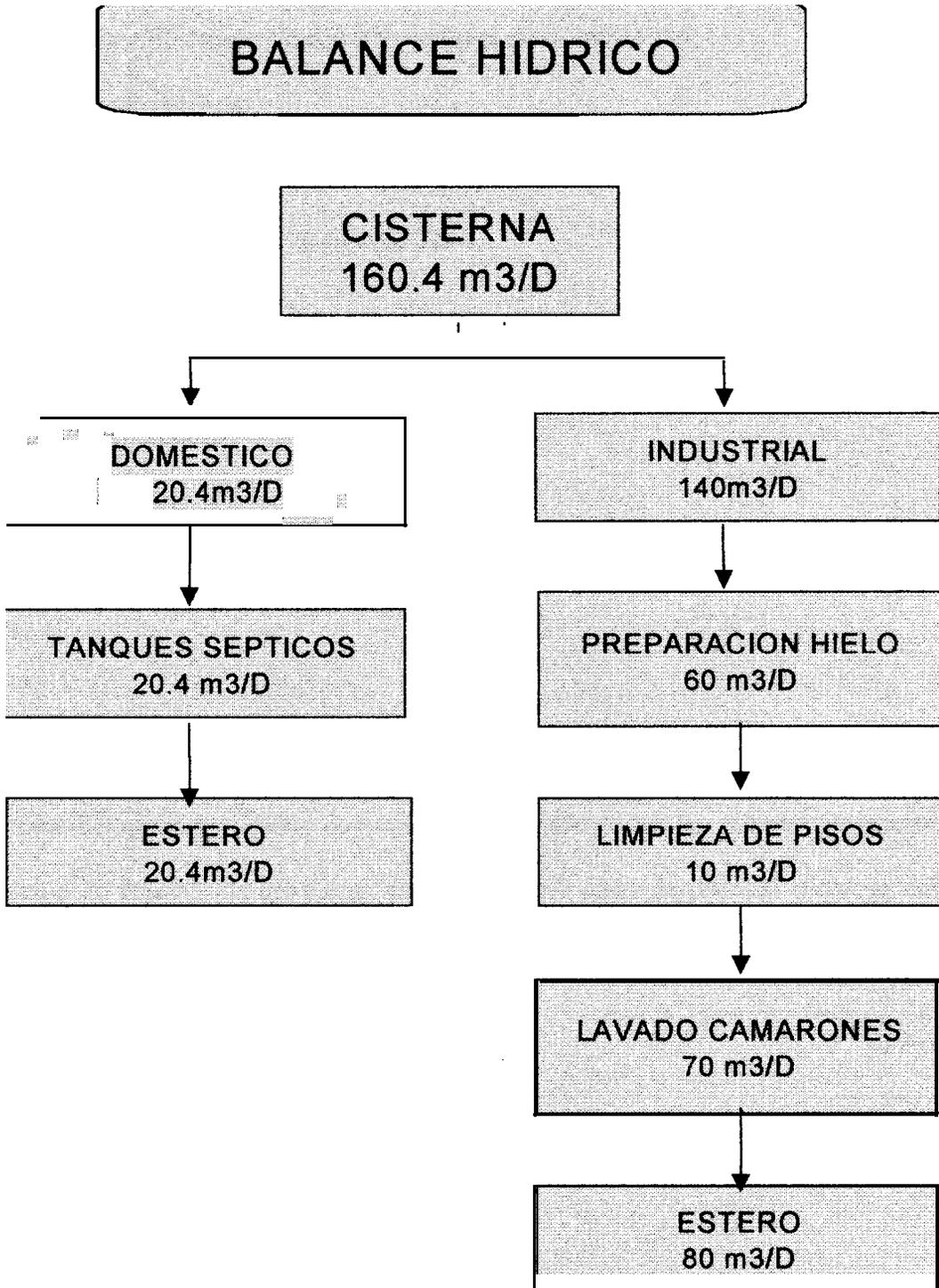
Se considera el consumo doméstico de la siguiente manera:

- Administración: 1.900 litros
- Cocinas y vestidores: 18.500 litro
- Consumo total: 20.400 litros

El consumo industrial promedio **actual**, se basa en estadísticas y mediciones de la empresa, se distribuye de la siguiente manera:

- Preparación de hielo: 60.000 litros
- Limpieza de pisos, máquinas, gavetas, mesones, etc.: 10 000 litros
- Lavado de camarones: 70.000 litros

Figura 2



1.2.4 INFORMACION SOBRE AGUAS LLUVIAS

Componente. El sistema de aguas lluvias está conformado por:

- Recolección de cubiertas.
- Caída libre o sumideros de recolección.
- Bajantes de aguas de lluvia en algunos casos.
- Canales y tuberías.

Conviene recalcar que el sistema de drenaje de aguas de lluvia no esta conectado con el de agua residual del proceso.

Las aguas lluvias del área construida son drenadas y transportadas hasta un estero existente en el sector.

1.2.5 INFORMACION SOBRE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

El sistema de aguas residuales domésticas comprende todas las tuberías y accesorios de recolección de desagüe de las piezas sanitarias, como cajas de revisión y red de descargas hasta los sistemas de tratamiento.

Existen dos sistemas de tratamiento contruidos:

- ◆ Para el **área** administrativa, y
- ◆ Para el área de servicio general.

Los sistemas de tratamiento son seguidos de un sistema de infiltración - filtración el cual está conformado por lechos de piedras y arena para la remoción de materia orgánica disuelta. La disposición final es en el estero del sector.

1.2.6 INFORMACION SOBRE RESIDUOS SOLIDOS

Los sólidos de esta empacadora provienen de la actividad doméstica y del proceso industrial (restos de materia prima).

Los residuos domésticos sólidos y del proceso industrial son incinerados en un incinerador construido por la empresa.

1.2.7 INFORMACIONES SOBRE LOS EFLUENTES LIQUIDOS

Considerando la forma de producción y abastecimiento de agua, se pudo determinar las cantidades de efluentes líquidos. Adicionalmente se realizaron mediciones instantáneas para obtener la cantidad de agua residual

El caudal promedio de agua residual, considerando un consumo de 80 m^3 en 12 horas, es de 1.85 l/seg . Para los consumos máximo y mínimo, se han considerado las mediciones máximas y mínimas realizadas. Adicionalmente para determinar un consumo máximo para efectos de diseño, se ha considerado un factor de mayoración de 2. Así se tiene:

$Q_{\text{máx}}$: 3.7 l/seg . ($160 \text{ m}^3/\text{día}$)

Q_{med} : 1.85 l/seg . ($80 \text{ m}^3/\text{día}$)

CAPITULO II .- FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAJE

2.1 CARACTERIZACION DEL EFLUENTE

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental y constituye el primer paso para el proyecto y explotación de una infraestructura de depuración.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Muchos de los parámetros característicos del agua residual guardan relación entre ellos. Una propiedad física como la temperatura, puede afectar tanto la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

Para la caracterización del agua residual se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos pueden ser gravimétricos, volumétricos o físico químicos.

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total sólidos, el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. Entre las principales características químicas se encuentran: la materia orgánica, la materia inorgánica y los gases disueltos. Las características biológicas incluyen los principales grupos de microorganismos presentes en las aguas residuales, tanto aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos como los organismos patógenos.

Un factor importante a tener en cuenta es la toma de muestras. El análisis reflejará el resultado de la muestra enviada al laboratorio, por lo que esta debe ser representativa del volumen de agua que se pretende caracterizar. La toma de muestra deberá tener en cuenta la variación en el tiempo del caudal y carga contaminante.

Para la caracterización físico - química de los efluentes de la empacadora se consideraron los análisis del Laboratorio de Química Sanitaria de Aguas del Dr. Aurelio Mosquera. En la tabla #1 se indican algunos parámetros de contaminación considerando un volumen de $80 \text{ m}^3 / \text{día}$ de proceso, los cuales fueron considerados para el diseño del sistema de tratamiento. En el anexo C se describen los demás parámetros que caracterizan el agua residual.

Tabla 1.- Parámetros físico - químicos del efluente

Parámetros	Valores	Unidad
Turbiedad	90	UTJ
Color	15	UPt/Co
Olor	Desagradable	
Temperatura ambiente	27	°C
pH a 25 °C	6.8	
Conductividad específica	660	μ ohmios/cm
Sólidos disueltos	435	mg/l
Sólidos suspendidos	60	mg/l
Sólidos totales	495	mg/l
Sólidos sedimentables	2	ml/l
DBO ₅	180	mg/l
DQO	250	mg/l
OD	0	mg/l

Fuente: Laboratorio de Química Sanitaria de Aguas del Dr. Aurelio Mosquera.

2.2 CRITERIOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

La relación entre la DBO_5 y la DQO indica la importancia de los vertidos industriales dentro de las aguas residuales y sus posibilidades de biodegradación. Así, si la relación DBO_5 / DQO es inferior a 0.2, el agua es poco biodegradable, entre 0.2 y 0.4 es biodegradable y valores superiores a 0.4 indican aguas altamente biodegradable.

La relación DBO_5 / DQO del efluente aquí considerado arroja un resultado de 0.7, lo cual nos indica que el agua residual es altamente biodegradable, por lo que se consideró lo siguiente:

- Construir una red de tuberías que recoja solo agua industrial.
- Construir 2 sistemas para la retención de sólidos: uno mediante rejillas y otro por tamizado.
- Construir un sistema de bombeo de pozo húmedo para elevar el agua hacia el sistema de tratamiento.
- Construir un sistema de tratamiento consistente en dos lagunas anaerobias para funcionar en paralelo y una laguna facultativa secundaria.

2.3 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA

Para que el proceso de depuración biológica tenga lugar, además de la biodegradabilidad del agua residual, es necesario que los demás parámetros se encuentren dentro de los niveles permisibles. Entre los factores que pueden afectar la depuración de un **efluente** se encuentran los siguientes:

Temperatura. La depuración biológica se desarrolla de forma adecuada en un rango de temperaturas que oscila entre los 12 y los 38°C (zona mesófila).

pH. Las enzimas son activas en un estrecho corredor alrededor de un pH determinado y que, normalmente, no puede ser muy diferente del pH 7 (6.2-8.5) (Metcalf & Eddy, 1996).

Homogeneización. El proceso metabólico se optimiza cuando se logra una homogeneización perfecta. Los sistemas técnicos de depuración biológica más homogéneos son los fangos activos y los lechos bacterianos.

Cantidad mínima de nutrientes. La condición adecuada para que un agua residual pueda depurarse, es que la cantidad de nutrientes sea suficiente, pudiéndose estimar su contenido por las relaciones $DBO_5/N_{Total} = 100/5$, y $DBO_5/P_{Total} = 100/1$. (Muñoz, Lechmann y Martínez, 1996).

Inhibidores. Las enzimas son activas en estado coloidal, pudiendo inhibir su actividad las sustancias presentes en las aguas en forma de sales insolubles, iones de metales pesados, reactivos alcaloides, el cloro y sus compuestos, etc. Esta acción de

los inhibidores puede actuar sobre los microorganismos destruyéndolos, o dejándoles en estado latente.

En las empacadoras de camarón, dos de las sustancias químicas más empleadas que eventualmente pudieran inhibir el proceso de depuración biológica, son el cloro usado en la desinfección de pisos, máquinas, gavetas, mesones, etc. y el metabisulfito de sodio, empleado en la preservación del camarón entero.

El metabisulfito de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ es un agente conservante, que se utiliza para modificar las propiedades organolépticas del camarón, evitando la presencia de la mancha negra (black-spot o melanosis), cuya presencia no representa **ningún** peligro para el consumidor, sin embargo afecta a la estética del producto , siendo rechazado para la exportación.

Los niveles de concentración de este preservante es regulado por organismos internacionales como la Food and Drug Administration (FDA) quienes establecen límites máximos permisibles en el producto , estos niveles son 100 ppm en producto crudo y 30 ppm en producto cocido, a su vez la comunidad Europea establece límites máximos permisibles de 150 ppm. Las plantas **proceadoras** (empacadoras de camarón) deben cumplir estas exigencias a fin de que el producto pueda entrar en el mercado.

El metabisulfito de sodio es reversible a bisulfito de sodio cuando es empleado como solución: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{NaHSO}_3$

De esta reacción la parte medible en el producto por la metodología estándar (Monnier Williams) es el residual de metabisulfito o dióxido de azufre (SO_2), el cual es absorbido por el camarón durante el tratamiento químico.

El cloro es quizás el desinfectante más universalmente utilizado y el que más se emplea en las empacadoras. Es altamente tóxico para los microorganismos, y para las formas de vida superiores, oxida la materia orgánica, es efectivo a temperatura ambiente, es muy corrosivo, posee alta capacidad desodorante y está disponible en grandes cantidades y a precios razonables.

Al añadir cloro a un agua residual, las sustancias que reaccionan con facilidad, como el Fe^{+2} , el Mn^{+2} , el H_2S y la materia orgánica, reaccionan con el cloro y lo reducen en gran parte a ión cloruro. Tras satisfacer esta demanda, el cloro continúa reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas. Algunas de las cloraminas se oxidan a óxido de nitrógeno (N_2O) y nitrógeno (N_2) y el cloro se reduce a ión cloruro.

La eliminación del cloro se puede conseguir por reacción con un agente reductor tal como el dióxido de azufre o el metabisulfito de sodio, o por la adsorción sobre carbón activado.

El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoníaco presente en el agua residual y de que sea un fuerte agente oxidante, junto a la acción neutralizante del metabisulfito de sodio, complica el mantenimiento de una cantidad residual, lo que en gran medida reduce su efecto inhibitor en la depuración biológica (Metcalf & Eddy, 1996).

Uno de los efectos observables de la acción desinfectante del cloro en el agua residual de las empacadoras, es la diferencia entre los valores de la DBO_5 del agua de proceso, la cual puede alcanzar los 400-600 mg/l, y la DBO_5 del agua que sale como **efluente** hacia el sistema de tratamiento. Esta acción desinfectante, reduce a su vez su acción inhibitor, una vez que el agua residual alcanza las lagunas de oxidación.

2.4 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

2.4.1 ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Uno de los problemas que pudieran presentar las lagunas, es la permeabilidad de los depósitos, que puede generar impactos importantes en las aguas subterráneas.

Para la implantación de las lagunas de estabilización son precisos estudios sobre:

- Accesibilidad
- Topografía
- Geología

Dentro de los aspectos geológicos debe definirse la naturaleza del suelo y la existencia de masas rocosas, la posibilidad de empleo del propio material del terreno, así como la hidrología de la zona.

Algunas consideraciones geológicas geotécnicas son:

- Realizar perforaciones someras para determinar el tipo de material existentes en el área de tratamiento.

- Ejecución de ensayos de laboratorio y análisis de los resultados con el fin de determinar características de expansividad, permeabilidad y estabilidad de taludes.
- Determinar el nivel freático.
- Determinación de la capa vegetal a ser desalojada.
- En base a los resultados de laboratorio, determinación de la posibilidad de uso de los materiales existentes en el sitio como material de préstamo para la construcción de los muros de las lagunas.

En la tabla 2 se resumen otros factores que influyen en la depuración por lagunaje:

Tabla 2-. Factores que influyen en la depuración por lagunas

FACTORES	PARAMETROS
Climáticos	Temperatura
	Radiación solar
	Viento
	Precipitación
	Evaporación
Físicos	Estratificación
	Líneas de corriente
	Profundidad
Químicos	Cargas de contaminación
	Puntas de carga
	Tóxicos e inhibidores
	Grasas
	Nutrientes
	ph
Biológicos	Macrofitas
	Microfitas
	Bacterias
	Algas
	Protozoos
	Hongos
	Insectos

2.4.2 CAUDAL DE DISEÑO

Generalmente las lagunas de estabilización son diseñadas considerando los caudales promedios generados por la empresa o la población servida más el caudal de infiltración que pudiera introducirse al sistema : $Q_{\text{lagunas}} = Q_{\text{medio}} + Q_{\text{infiltración}}$

La mejor forma de diseñar las lagunas es disponiendolas en dos módulos en paralelo con la finalidad de que cuando uno de los módulos este siendo sometido a operaciones de limpieza y mantenimiento, el otro sirva para captar todo el caudal generado. Por lo tanto el caudal de diseño por modulo será la mitad del caudal que llega a las lagunas: $Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{lagunas}} / 2$

2.4.3 TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

2.4.3.1 LAGUNAS ANAEROBIAS

Los estanques anaerobios se usan para el tratamiento de agua residual de alto contenido orgánico que también contengan una alta concentración de sólidos. Generalmente un estanque anaerobio es un estanque profundo excavado en el terreno, dotado de un sistema de conductos de entrada y de salida adecuados. Para conservar la energía calorífica y mantener las condiciones anaerobias, se construyen estanques de profundidades que varían entre los 2.4 m y los 9 m, siendo profundidades típicas entre 4 y 5 m (Metcalf & Eddy). Los residuos a tratar en el estanque sedimentan en el

fondo del mismo, y el efluente parcialmente clarificado se vierte, normalmente, a otro proceso posterior, (Scragg, 1995).

Generalmente, estos estanques son anaerobios en toda su profundidad, excepto en una estrecha franja cercana a la superficie. La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en CO_2 , CH_4 , otros productos gaseosos finales, ácidos orgánicos y tejido celular. Normalmente, es fácil conseguir, de forma continua, rendimientos de eliminación de la DBO_5 superiores al 70%. En condiciones óptimas de funcionamiento, es posible conseguir eficacias de eliminación de hasta el 85%.

Su función es similar al tanque séptico, remueven una alta cantidad de carga orgánica y sólidos en suspensión. Una vez que los sólidos se sedimentan en el fondo de la laguna son sometidos a un proceso de descomposición anaeróbica por la acción de bacterias. Debido a esta acumulación de sedimentos es necesario limpiar las lagunas cada cierto tiempo (generalmente 3 a 5 años).

La limitante del uso de estas lagunas es la producción de malos olores por lo que el diseño de las mismas deberá considerar un valor máximo de carga de DBO , según la siguiente ecuación:

$$\lambda_i = \frac{LiQ}{v} = \frac{Li}{t}$$

donde:

λ_i = es la carga volumétrica diaria de DBO en $\text{g/m}^3 \cdot \text{Día}$.

L_i = es el DBO ultimo del afluente a la laguna en mg/l ó g/m^3

Q = es el caudal de diseño de la laguna en $\text{m}^3/\text{día}$.

V = es el volumen calculado de la laguna anaerobia en m^3 .

t = es el tiempo de retención de la laguna en días.

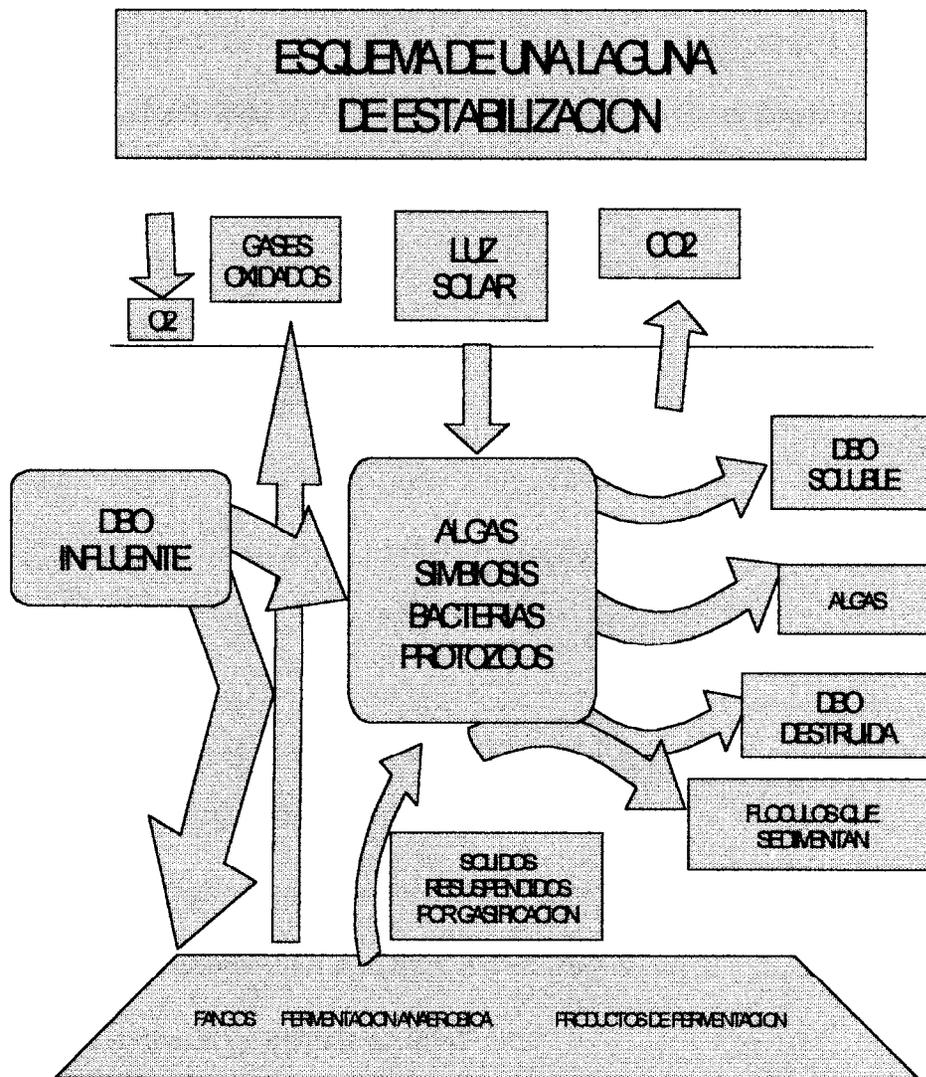
Para un correcto diseño el valor de λ_i debe estar en un rango entre 100 a 400 $\text{g/m}^3 \cdot \text{día}$. De acuerdo a experiencia de autores, el grado de remoción de DBO de una laguna anaerobia esta relacionado con el tiempo de retención (Muñoz, Lechmann y Martínez, 1996).

Las principales consideraciones que se han tomado en cuenta al diseñar las lagunas se describen a continuación:

- . La carga orgánica del **efluente**
- El caudal diario.
- . La constante global de eliminación de la DBO_5 .
- . La temperatura del agua del mes más frío.
- El tiempo de retención hidráulica.
- . El factor de dispersión del estanque.
- . El área disponible para la instalación de las lagunas.
- El volumen y la profundidad de operación.

En la figura 3 se esquematiza los diferentes procesos que ocurren en una laguna anaerobia.

Figura 3



Diseño de Lagunas Anaerobias

El diseño de lagunas anaerobias debe fundamentarse en cargas volumétricas entre 0.1 y 0.4 Kg DBO₅/m³.día

Los valores alrededor de 0.1 deben ser utilizados en zonas donde la estación fría es prolongada y alrededor de 0.4 donde hay valores anuales de temperatura templados (27-30°C), (Scragg, 1995).

El volumen de la laguna será:

$$V = \frac{LiQ}{\lambda V}$$

Donde:

V = Volumen de la laguna en m³

λV = carga volumétrica en g DBO₅/m³. día (100-400)

Li = concentración del DBO₅ del efluente en mg/l.

Q = caudal de entrada en m³/d.

Teóricamente no hay limite para la profundidad de la laguna anaerobia, pero una profundidad de 4 m, puede considerarse como optima desde el punto de vista del tratamiento. Para conservar la energía calorífica y mantener las condiciones

anaerobias, se han construido estanques de profundidades de hasta 9,1 metros. (Metcalf & Eddy , 1996)

Los datos para el dimensionamiento son muy variados, todos ellos fruto de diferentes investigaciones. Diferentes autores proponen valores de la carga volumétrica que varían entre los 40 y los 500 g DBO₅/m³/día y tiempos de retención entre 2 y 50 días (Muñoz, Lehmann y Martínez, 1996)

2.4.3.2 LAGUNAS FACULTATIVAS.

Los estanques en los que la estabilización de las aguas residuales se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas anaerobias y aerobias, se conocen con el nombre de estanques de estabilización facultativas (aerobios- anaerobios).

Descripción del proceso. En un estanque facultativo existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

Los estanques de estabilización facultativos son estanques excavados en el terreno que se alimentan con agua residual procedente de un proceso previo de desbaste o con

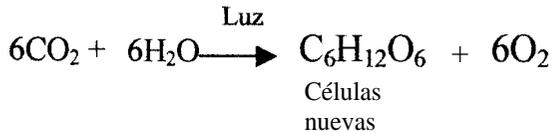
el **efluente** de un tratamiento primario. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobia. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango da como resultado la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases **tales** como el CO_2 , el H_2S y el SH_4 , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.

En la practica, la presencia de oxígeno en la capa superior del estanque se consigue por las algas o mediante aireadores de superficie. Si se emplean aireadores de superficie, la presencia de algas no es necesaria. La ventaja de utilizar aireadores de superficie reside en que ello posibilita aplicar cargas orgánicas más elevadas. Sin embargo, la carga orgánica aplicada no debe exceder de la cantidad de oxígeno que pueda ser suministrada por los aereadores sin que se produzca un mezclado completo del contenido del estanque, ya que en este caso se pierden las ventajas derivadas de la descomposición anaerobia.

Microbiología del proceso. La comunidad biológica de la capa superior o aerobia es similar a la de un estanque aerobio. Los microorganismos de la zona inferior del estanque son bacterias facultativas y anaerobias. La respiración también se produce en presencia de luz solar; sin embargo, la reacción neta es la producción de oxígeno.

Las siguientes ecuaciones representan las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis y de la respiración, (Villegas, 1991):

Fotosíntesis:



Respiración:



Debido a que las algas usan dióxido de carbono en su actividad fotosintética, ello puede dar lugar a condiciones de pH altos, especialmente en aguas residuales con alcalinidad baja. En muchos casos, las algas presentes en los estanques facultativos obtienen el carbono necesario para la síntesis celular del ion bicarbonato. Cuando se emplea como fuente de carbono el ion bicarbonato, se pueden producir altas variaciones diurnas del pH. Además, con el aumento del pH cambian los componentes de la alcalinidad, y tiende a predominar la alcalinidad debida la presencia de carbonato y de hidróxido. Si el agua residual presenta altas concentraciones de calcio, se producirá el precipitado del carbonato de calcio cuando las concentraciones de carbonato y del ion calcio sean lo suficientemente elevados para alcanzar el valor del producto de solubilidad. Esta eliminación del ion carbonato evitará que el pH siga subiendo.

Análisis del proceso. La magnitud del esfuerzo aplicado al estudio de los estanques facultativos es enorme, y se ha dedicado, aproximadamente, la misma atención al desarrollo de ecuaciones de diseño adecuadas. A pesar de que se han publicado numerosas ecuaciones de diseño, no existe una ecuación universalmente aceptada. La explicación de este hecho radica, en parte, en que el proceso está poco determinado debido a las variaciones que presenta la naturaleza. Por ejemplo, todas las ecuaciones desarrolladas para la predicción de la calidad del **efluente** pierden su validez en cuanto aparece el viento. Bajo estas condiciones, la calidad del **efluente** dependerá del grado de mezcla provocado por el viento, y de la cantidad de sólidos sedimentados que pasan a estar en suspensión. Esta es la principal razón por la cual los estanques facultativos se suelen proyectar a partir de datos obtenidos de instalaciones en funcionamiento. (Metcalf & Eddy, 1996)

El diseño de la laguna dependerá de la carga superficial de DBO aplicada a la laguna, es decir la cantidad de DBO aplicada por unidad de área de superficie de laguna por día. Esta carga superficial tendrá un valor límite máximo pasado el cual la laguna se volverá anaerobia. La ecuación para calcular dicho valor límite máximo es (Matamoros, 1996):

$$CSm = 357,4 * 1,085^{T-20}$$

$$CSm = 400,6 * 1,0993^{Tai - 20}$$

Donde:

CS_m: es la carga superficial máxima en Kg DBO / ha.día

T: es la temperatura del agua del mes más **frío**, en °C.

T_{ai}: es la temperatura del aire del mes más frío, en °C.

La carga superficial de diseño tendrá un valor algo menor que la carga superficial máxima debido a:

- La existencia de variaciones bruscas de temperatura
- La forma de la laguna (las lagunas de forma alargada son sensibles a variaciones y deben tener menores cargas)
- La existencia de desechos industriales
- El tipo de sistema de alcantarillado.

El área de la laguna facultativa se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{LiQ_{diseño}}{CS_{diseño}}$$

Donde:

A: es el área a la mitad de la profundidad de la laguna

Li: es el **DBO** ultimo del afluente a la laguna facultativa

Q diseño: es el caudal de diseño de la laguna facultativa

Cs diseño: es la carga superficial de **DBO** de **diseño** de la laguna

El tiempo de retención de la laguna facultativa se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{Ah}{Q_{\text{diseño}}}$$

Donde:

h: es la altura efectiva de líquido en la laguna facultativa

t: es el tiempo de retención hidráulica de la laguna

El valor de DBO ultimo a la salida de la laguna facultativa se calcula por la siguiente ecuación (Matamoros. 1996):

$$\text{DBO ultimo salida} = \frac{\text{DBO}_{\text{ultimo entrada}}}{1 + K't}$$

Donde:

K'1: es el coeficiente de descomposición del DBO₅ en días⁻¹. Este coeficiente es función de la temperatura del agua y se lo calcula así:

$$K'1 = 0.3 * (1.05)^{T-20}$$

Para que una laguna sea considerada facultativa su altura líquida efectiva deberá estar entre 1,50 y 2,50 m.

Las lagunas facultativas pueden ser las primeras de una serie o seguir a las lagunas anaerobias.

2.4.3.3 ESTANQUE DE ESTABILIZACIÓN AEROBIA.

En su forma mas simple, los estanques de estabilización aerobia son grandes depósitos excavados en el terreno, de poca profundidad, que se emplean para el tratamiento del agua residual por medio de procesos naturales que incluyen la utilización de algas y de bacterias.

Descripción del proceso. Un estanque de estabilización aerobia contiene bacterias y algas en suspensión, existiendo condiciones aerobias en toda su profundidad. Existen dos tipos básicos de estanques aerobios. En el primer tipo, el objetivo es maximizar la producción de algas. La profundidad de este tipo de estanques se suele limitar entre 15 y 50 cm.

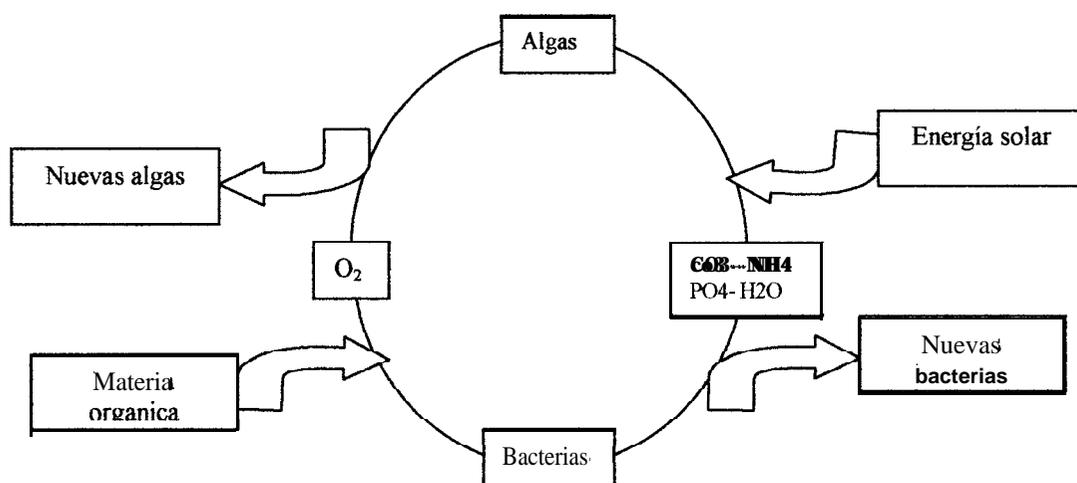
En el segundo tipo de estanques, el objetivo es maximizar la cantidad de oxígeno producido, y se emplean profundidades de hasta 1.5 m. En ambos tipos, el oxígeno, además del producido por las algas, penetra en el líquido por la difusión atmosférica. Para optimizar los resultados, es conveniente mezclar periódicamente el contenido de los estanques por medio de bombas o de aireadores de superficie.

Microbiología del proceso. En los estanques aerobios fotosintéticos, el oxígeno se suministra por aireación natural a través de la **superficie** y por fotosíntesis de las algas. Con excepción de la población de algas, la comunidad biológica presente en los estanques de estabilización es similar a la existente en los sistemas de fangos activados. El oxígeno liberado por las algas en el proceso de fotosíntesis es utilizado

por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono liberados en este proceso de degradación los emplean, a su vez, las algas. También se presentan animales superiores **tales** como los rotíferos y protozoos, cuya principal función consiste en la mejora del efluente.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de un estanque aerobio depende de factores **tales** como la carga orgánica, el grado de mezclado del estanque, el pH, los nutrientes, la luz solar, y la temperatura. Este último factor ejerce **un** efecto muy importante sobre los estanques aerobios, particularmente en regiones que tienen invierno s fríos.

Figura 4. Representación esquemática de la relación simbiótica entre algas y bacterias en un estanque de estabilización de alta carga.



Análisis del proceso. En los estanques aerobios, la eficacia de la eliminación de la DBO_5 es alta, situándose por encima del 95%. Sin embargo, es necesario recordar que, aun cuando se ha conseguido eliminar la DBO soluble del agua residual a tratar, el alto contenido en algas y bacterias del **efluente** del estanque puede ejercer valores de la DBO_5 superiores a los del agua afluente.

Se han propuesto diversos sistemas teóricos para el análisis de los estanques de estabilización aerobios. Sin embargo, a causa de las numerosas variables incontrolables que influyen en el proceso, los estanques todavía se suelen diseñar utilizando factores de carga deducidos de ensayos en planta piloto y observaciones de sistemas en funcionamiento. La carga del estanque se ajusta para adecuarse la cantidad de oxígeno disponible por fotosíntesis y reaireación atmosférica.

Tabla 3-. Criterios para diseñar lagunas naturales en tres etapas

Características	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Aerobia
Uso recomendado	Vertidos de alta carga contaminante, como pretratamiento de lagunas facultativas.	Aguas urbanas e industriales, no necesitan lagunaje anaerobio previo	Complemento de depuración, a continuación de las facultativas
Carga orgánica incorporada (Kg. DBO_5 /ha.día)	200-1000	56 - 200	5-20
Profundidad de retención (días)	1 0-50	6-30	4-12
Profundidad de las lagunas(m)	3-6	1-2.5	0.6-1.2
Dimensiones máximas de cada módulo (ha)	0.1-1	1-4	1-4

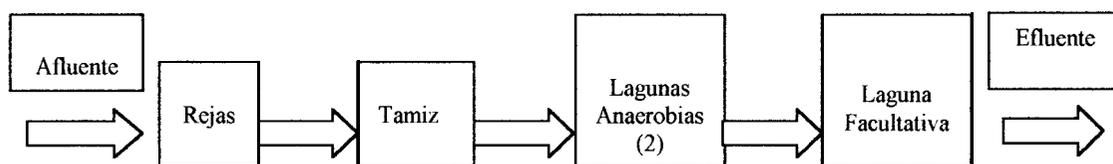
Referencia: Metcalf & Eddy, 1996

CAPITULO III.- DISEÑO DE LOS PROCESOS UNITARIOS

3.1 SISTEMAS Y PROCESOS UNITARIOS SELECCIONADOS

Como solución al problema de contaminación de los efluentes industriales de la empaedora en estudio, se recomienda construir un sistema de tratamiento. Este sistema servirá tanto para tratar las aguas residuales actuales, como futuras.

El tratamiento propuesto es de 2 lagunas anaeróbicas seguidas de una laguna facultativa y la operación de los procesos unitarios iniciales de toda planta convencional es decir, diseñaremos un sistema de desbaste para evitar la entrada de desechos sólidos grandes al sistema. El flujograma del sistema de tratamiento propuesto se lo detalla a continuación:



3.2 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y FUNCIONALES DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Las lagunas de estabilización son estanques construidos de tierra, piedra u hormigón ciclópeo. Generalmente son de forma rectangular y de poca profundidad. Existen tres tipos de lagunas: anaerobias, facultativas y de maduración. Básicamente es un tipo de

tratamiento conveniente, fácil de operar y mantener económico, siempre y cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- ◆ Disponibilidad de superficie de terreno donde construir las lagunas, y
- ◆ El terreno donde se construyan las lagunas sea económico para su **adquisición**.
- ◆ Además, el material de construcción de las lagunas debe ser barato.

Las lagunas facultativas y anaerobias pueden generar problemas de malos olores debido a que su objetivo es la remoción de DBO. Por tal motivo es importante dimensionar correctamente las lagunas para que no se presenten estos problemas.

3.2.1 Forma y Construcción de los Depósitos

La forma debe ser lo más regular posible, evitando por un lado formas angulares donde puedan producirse zonas muertas con sedimentaciones preferenciales, y por otro lado la formación de caminos preferenciales. En este sentido deben cuidarse las ubicaciones de entradas y salidas a los depósitos.

En la coronación de los depósitos deben garantizarse una anchura mínima de 3 m. para permitir la compactación en su caso y la circulación de vehículos. La **superficie** de los estanque varía entre 0.2-0.8 ha en las lagunas anaerobias y de 0.8 a 4 ha para las lagunas facultativas y aerobias. Las profundidades oscilan entre 0.9-1.5 m en las lagunas aerobias, 1.2-2.4 m en las facultativas y de 2.4 a 9 m para las lagunas anaerobias (Metcalf & Eddy, 1996). Deben preverse rampas de acceso al fondo de los depósitos, permitiendo el acceso de vehículos.

La construcción del depósito puede hacerse por excavación, por terraplenado, o mixta. En cualquier caso deben garantizarse los aspectos resistentes y de impermeabilización .

Para garantizar la estabilidad de los terraplenes deben garantizarse pendientes de $1.5/1 \leq L/H \leq 2/1$ en el paramento exterior, y $2.0 /1 \leq L/H \leq 3.0 / 1$ en el paramento en contacto con las aguas (Muñoz, Lehmann y Martínez , 1996).

3.3 DISEÑO DE LAS UNIDADES DE PRETRATAMIENTO

El primero paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejillas de barras o tamices.

Las rejillas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores, mientras que los tamices se caracterizan por disponer de aberturas libres inferiores a los 15 mm.

El agua residual producto del procesamiento del camarón en la planta empacadora, es recolectada y conducida hasta el pozo de bombeo a través de un canal de hormigón simple. A lo largo del canal se sitúan rejillas y tamices para la separación de los sólidos de mayor tamaño y parte de los sólidos suspendidos que llegan con el

efluente. Antes de cada unidad de desbaste se disponen cajas de revisión que permitan la recolección del material y sedimentos retenidos.

El dimensionamiento del canal de conducción y de las estructuras de desbaste, busca la obtención de velocidades mínimas permisibles que reduzcan las pérdidas de carga al paso del agua residual. Las velocidades de paso a caudal medio recomendadas son de 1.2 m/s (Muñoz, Lehmann y Martínez, 1996). Teniendo en consideración lo anterior, y la disposición topográfica respecto a las otras unidades, la unidad de pretratamiento está dispuesta de la forma siguiente:

- * Un canal de conducción de 0.25 m de ancho y 0.65 m de altura.
- * Una caja de registro de 0.50 m de largo, 0.40 m de ancho y 0.65 m de altura.
- * La rejilla de desbaste tiene 0.40 m de ancho y 0.65 m de altura. Se sitúa en el extremo de la primera caja de registro y tiene aberturas de 15 mm de diámetro.
- * Una caja de 0.60 m de largo, 0.80 m de ancho y 1 m de altura.
- * Un tamíz de 0.80 m de ancho y 1 m de altura, con perforaciones de 4 mm.
- * Un tamíz de 0.80 m de ancho y 1 m de altura con perforaciones de 2 mm.

Los tamices se colocan uno a continuación de otro con una separación de 1m. Ambos tamices tienen una inclinación de 45° para facilitar la limpieza de los sólidos retenidos.

3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTACION DE BOMBEO

Para el bombeo del agua residual, es muy importante elegir bombas que garanticen un funcionamiento adecuado con bajos costos de mantenimiento. La selección de las bombas se basa en los siguientes parámetros:

- * Naturaleza del agua residual a evacuar
- * Presión o carga a desarrollar (Altura dinámica total)
- * Caudal del efluente

3.4.1 CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA TOTAL (HDT)

La altura dinámica total es una medida de la altura a la que hay que elevar el agua por bombeo desde el nivel de succión. A ésta altura es necesario incluir las pérdidas por fricción que ocurren en las tuberías de succión y de descarga. También se deben considerar las pérdidas de energía en los dispositivos de entrada, válvulas, codos, tubo de descarga y otros componentes. La energía cinética o de presión requerida en el extremo de la línea de bombeo forma parte también de carga dinámica total.

La altura dinámica total se compone de:

- * Altura dinámica de succión
- * Altura dinámica de descarga

a) Calculo de la Altura Dinámica de Succión (HDS)

* La velocidad del agua en la entrada del tubo de aspiración debe de 0.90 m/s como máximo (Baños, 1994).

* Pérdida de carga en la succión: $H_s = k \frac{v^2}{2g}$

Donde: $k = 0.75$ (coeficiente de pérdida de carga por la rejilla de succión)

$V = 0.90$ m/s (velocidad de succión)

$G = 9.8$ m/s (aceleración de la gravedad)

$H_s = 0.031$ m

* Pérdida de carga debido a la velocidad de succión: $H_v = \frac{v^2}{2g}$

$H_v = 0.041$ m

* **$HDS = H_s + H_v = (0.031 + 0.041)m$**

$HDS = 0.072$ m

b) Calculo de Altura Dinámica de Descarga (HDD)

* El diámetro óptimo de tubería se obtiene por la fórmula de Bresse: $d = k\sqrt{Q}$

(Baños, 1994), donde:

$K = 0.87$ (coeficiente de pérdidas debido al material-PVC)

$Q = 7.4$ l/s (caudal máximo estimado del efluente)

$d = 0.075$ m

* El área de sección de la tubería de descarga es $A = \pi \frac{d^2}{4}$

$$A = 0.0044 \text{ m}^2$$

* La velocidad de descarga de la bomba es $v = \frac{Q}{A}$

$$V = 1.68 \text{ m/s}$$

* La altura estática de **descarga** (altura desde el pozo de succión hasta el punto de descarga en las lagunas anaerobias), es $H_d = 4.71 \text{ m}$

* Las pérdidas de carga debido a accesorios son: $H_a = k \frac{v^2}{2g}$, donde:

$$K_1 = 0.4 \text{ (pérdidas de carga debida a un codo de } 45^\circ)$$

$$K_2 = 0.9 \text{ (pérdida de carga debida a un codo de } 90^\circ)$$

$$H_{a1} = 0.058 \text{ m}$$

$$H_{a2} = 0.130 \text{ m}$$

$$H_a = (0.058 + 0.130) \text{ m} = 0.188 \text{ m}$$

* Pérdida de carga debido a la velocidad: $H_v = \frac{(v_d - v_s)^2}{2g}$, donde:

$$V_d = 1.68 \text{ m/s (velocidad de descarga)}$$

$$V_s = 0.9 \text{ m/s (velocidad de succión)}$$

$$H_v = 0.031 \text{ m}$$

* Pérdidas por la descarga del agua: $H_s = k \frac{v^2}{2g}$, donde:

$$K = 1 \text{ (pérdida de carga en la salida)}$$

$$\mathbf{H_s = 0.114 \text{ m}}$$

* Pérdidas debido a la fricción en la tubería

Según la fórmula de **Hazen- Williams** (Baños, 1994), las pérdidas unitarias de carga por fricción en la tubería son: $10.643Q^{1.85}C^{-1.85}D^{-4.87}$, donde:

C = 140 (coeficiente de fricción de la tubería-PVC)

D = 0.075 m (diámetro de la tubería)

Q = 0.0074 m³/s (caudal máximo del efluente)

$$\mathbf{S_f = 0.039 \text{ m/m}}$$

* Pérdidas totales en la tubería: $H_f = S_f * L$, donde:

$S_f = 0.039 \text{ m/m}$ (pérdidas por cada metro de tubería)

L = 36 m (longitud total de la tubería, desde el bombeo hasta la descarga)

$$\mathbf{H_f = 1.41 \text{ m}}$$

* $\mathbf{HDD = H_d + H_a + H_v + H_s + H_f = (4.71+0.188+0.031+0.144+1.41)m}$

$$\mathbf{HDD = 6.5 \text{ m}}$$

b) **La Altura Dinámica Total es:** $HDT = HDS + HDD$

$$\mathbf{HDT = (0.072 + 6.5) \text{ m} = 6.6 \text{ m}}$$

Considerando una carga residual del 30% como factor de seguridad, la altura dinámica total es: $\mathbf{HDT = 7.9 \text{ m}}$

3.4.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA.

La potencia de la bomba se calcula mediante la fórmula $P = \frac{WQH}{76n_B n_M}$, donde:

W = 1000 (peso específico del agua)

$Q = 3.7 \text{ l/s}$ (caudal máximo del agua residual)

$H = 7.9 \text{ m}$ (altura dinámica total)

$\eta_B \eta_M = 0.7$ (eficiencia del grupo de bombeo)

P = 0.55 HP

La potencia adoptada es de **1 HP**.

Para suplir las necesidades de bombeo, se instalarán 2 bombas sumergibles. Las bombas funcionaran de forma alternada para no paralizar el bombeo en caso de reparaciones o mantenimiento de una de las bombas.

Según las curvas de las bombas Goulds, las bombas seleccionadas tienen las siguientes características:

- Marca Goulds
- Modelo 3887 ws 10 BH - BHP
- Diámetro de acoplamiento 3 pulg.
- Superficie de paso de sólidos de 2 pulg.
- Potencia 1 HP
- RPM= 1750

3.4.3 DIMENSIONES DE LA CAMARA DE ASPIRACION

Para el dimensionamiento de la cámara de aspiración de la estación de bombeo se consideran los siguientes parámetros de diseño.

- Caudal actual = $3,7 \text{ l/s}$

- Caudal futuro = 7.4 l/s
- Tiempo entre arranques = 10 a 15 min. (Metcalf & Eddy, 1996)

Por tratarse de bombas sumergibles y considerando el tiempo total de operación de la planta y el tiempo mínimo que debe existir entre la parada y el arranque de las bombas, se estima que cada bomba tendrá como máximo 24 lapsos de arranque. Este número de arranques se reduce considerablemente si se considera el tiempo necesario para acumular un volumen suficiente para bombeo.

Volumen de la cámara de aspiración.

El volumen de la cámara de aspiración comprendido entre los puntos de arranque y parada viene dado por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\theta Q}{4} \text{ (Metcalf \& Eddy, 1996)}$$

Donde:

$$V = \text{Volumen de la cámara en m}^3.$$

$$\theta = 15 \text{ min (tiempo mínimo en minutos de un ciclo de bombeo).}$$

$$Q = 0.23 \text{ m}^3/\text{min (capacidad de la bomba)}$$

$$\mathbf{V = 0.9 m^3}$$

Considerando los requerimiento de espacio para la instalación de las bombas el volumen de la cámara será incrementado en un 40% .

$$V = 1.3 \text{ m}^3$$

3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS ANAEROBIAS

Las principales consideraciones y base de los cálculos se describen a continuación:

- La DBO del efluente es de 180 mg/l.
- La temperatura del agua es del agua del mes más frío es de 21.3 °C.
- La constante global de eliminación de la DBO₅ para aguas residuales es $k = 0.251$ día a 20 °C.(Metcalf & Eddy, 1996)
- El coeficiente que permite convertir k a k de 20°C a la temperatura del agua de la laguna es $\theta = 1.06$ (Metcalf & Eddy, 1996).
- La profundidad útil del estanque anaerobio que permita un adecuado funcionamiento es de 4 m, con una altura para el depósito de fangos de 0.6 m (epígrafe 2.3.3.1).
- El factor de dispersión que expresa el grado de mezcla de la laguna es $d = 0.5$ (Metcalf & Eddy, 1996).
- La eficiencia esperada en la eliminación de la DBO₅ es del 35%.
- El caudal de agua residual es de 160 m³/día.

Calculo del Volumen y Area de la Laguna Anaerobia.

a)- Determinación del parámetro k_t .

El término kt es un valor que se obtiene de la gráfica de Thirumurthi (Metcalf & Eddy, 1996). Representa la relación entre el porcentaje remanente de la DBO_5 después del tratamiento y el factor de dispersión de la laguna.

El parámetro Kt para un 35% de eficiencia de reducción de la DBO_5 y un factor de dispersión $d = 0.5$ es $Kt = 2.7$

Donde:

K es el coeficiente global de eliminación de la DBO_5 en días⁻¹.

t es el tiempo de retención hidráulica.

b)- El coeficiente de temperatura permite transformar la k a 20°C a la temperatura del agua en la laguna : $K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$

Donde:

θ es el coeficiente de temperatura: $= 1.06$

K_{20} es el valor del coeficiente global de eliminación de la DBO_5 a los $20^\circ\text{C} = 0.25/\text{día}$

T es la temperatura del agua del mes más frío $= 21.3^\circ\text{C}$.

$$K_{21.3} = 0.25/\text{día} * 1.06^{(21.3-20)}$$

$$K_{21.3} = 0.27/\text{día}$$

c)- El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que debe permanecer el agua en la laguna para que pueda efectuarse la depuración. Para $Kt = 2.7$ el tiempo de retención es:

$$0.27/\text{día} * (t) = 2.7$$

$$t = 2.7/0.27 \text{ d}^{-1}$$

$$t = 10 \text{ días}$$

d)- Volumen de la laguna:

$$V = Q * t$$

Donde:

V es el volumen de la laguna

t es el tiempo de retención = 10 días.

Q es el caudal de agua residual = 160 m³/día

$$V = 160 \text{ m}^3/\text{día} * 10 \text{ días}$$

$$V = 1600 \text{ m}^3$$

e)- Area de la laguna:

$$A = V/h$$

Donde:

A es área útil de la laguna.

V es el volumen útil = 1600 m³

h es la profundidad del lago = 4.6 m

$$A = \frac{1600 \text{ m}^3}{4.6 \text{ m}}$$

$$A = 348 \text{ m}^2$$

$$A = 0.0348 \text{ ha}$$

f)- Carga superficial en Kg.DBO₅/ha.día

$$C_s = \frac{V * mgDBO_5 / l}{A}$$

$$C_s = \frac{160m^3 * 180mg / l * 1 / 1000Kg / g}{0.0348ha}$$

C. superficial = 828 kg.DBO₅/ha.día

Area de cada Laguna

Las lagunas se diseñan en dos módulos en forma paralela, con la finalidad de que cuando uno de los módulos esté siendo sometido a operaciones de limpieza y mantenimiento, el otro sirva para captar todo el caudal generado.

$$\frac{A}{2} = 174 m^2$$

Volumen de cada Laguna

$$V = A * h$$

$$V = 174 m^2 * 4,6 m$$

$$V = 800 m^3$$

Dimensiones de cada laguna teniendo en cuenta el área calculado:

$$\text{Largo} = 15 m$$

$$\text{Ancho} = 12 m$$

Profundidad = 4.6 m

3.6 DIMENSIONAMIENTO DE LA LAGUNA FACULTATIVA

Las principales consideraciones y base de los cálculos se describen a continuación:

- La DB05 afluente considerando que la carga inicial se ha reducido en un 35% es de 117 mg/l.
- La temperatura del agua es del agua del mes más frío es de 23°C, ya que por su reducida profundidad las laguna facultativas reciben radiación en toda su columna.
- La constante global de eliminación de la DBO₅ es de 0.25/ día a 20°C.
- El coeficiente de temperatura es de 1.06.
- La profundidad útil típica de un estanque facultativo es de 1.5 m
- El factor de dispersión es de 0.5.
- La eficiencia esperada en la eliminación de la DBO₅ es del 90%.
- El caudal de agua residual es de 160 m³/día.

Calculo del Volumen y Area de la Laguna Facultativa.

a)- El parámetro Kt para un 90% de eficiencia de reducción de la DBO₅ y un factor de dispersión d = 0.5 es Kt = 4.5 (Metcalf & Eddy, 1996)

Donde:

K es el coeficiente global de eliminación de la DBO₅ en días⁻¹.

t es el tiempo de retención hidráulica.

b)- El coeficiente de temperatura es $K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$

Donde:

θ es el coeficiente de temperatura = 1.06

K_{20} es el valor del coeficiente global de eliminación de la DBO₅ a los 20°C
= 0.25/día

T es la temperatura del agua del mes más frío = 23°C

$$K_{23} = 0.25/\text{día} * 1.06^{(23-20)}$$

$$K_{23} = 0.3/\text{día}$$

c)- El tiempo de retención hidráulica para $Kt = 4.5$ es:

$$0.3/\text{día} * (t) = 4.5$$

$$t = 4.5/0.3 \text{ d}^{-1}$$

$$t = 15 \text{ días}$$

d)- Volumen necesario:

$$V = Q * t$$

Donde:

V es el volumen de la laguna

t es el tiempo de retención = a 15 días.

Q es el caudal de agua residual = 160 m³/día

$$V = 160 \text{ m}^3/\text{día} * 15 \text{ días}$$

$$V = 2400 \text{ m}^3$$

e)- Area de la laguna:

$$A = V/h$$

Donde:

A es área útil de la laguna.

V es el volumen útil = 2400 m^3

h es la profundidad del lago = 1.5 m

$$A = \frac{2400}{1.5m}$$

$$A = 1600 \text{ m}^2$$

$$A = 0.16ha$$

f)- Carga superficial en Kg.DBO₅/ha.día

$$C_s = \frac{V * mgDBO_5 / l}{A}$$

$$C_s = \frac{160m^3 / dia * 117mg / l * 1 / 1000Kg / g}{0.16ha}$$

$$C. \text{ superficial} = 117 \text{ kg.DBO}_5/\text{ha.día}$$

g)- Dimensiones de la laguna teniendo en cuenta el área calculado:

$$\text{Largo} = 45 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 36 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = 1.5 \text{ m}$$

3.7 CALCULO DE MOVIMIENTO DE **TIERRA**

El terreno sobre el cual serán construidas las lagunas es regular y el suelo tiene características arcillo-limosas. La figura 16 es un esquema general de los muros de las

lagunas; en la tabla 4 se resumen las medidas principales de los muros, a partir de los cuales se ha determinado la cantidad de material a ser movilizado en la conformación de las lagunas.

El acarreo y la compactación de tierra para la construcción de los muros será realizada por medio de 2 bulldozeres Caterpillar tipo zapatón D5 con un rendimiento estimado de 25 m³ / hora.

En el anexo E se detallan los cortes y dimensiones de los muros de las lagunas.

Tabla 4 -. Volumen de tierra requerida para los muros de las lagunas.

Muro	Largo (m)	Corona (m)	Altura (m)	Pendiente interior	Pendiente externa	Area m²	Volumen (m³)
1	67	3	4.6	1:1.5	1:1.5	46	3082
2	32	3	4.6	1:1.5	1:1.5	46	1472
3	53	3	1.5	1:1.5	1:1.5	8	424
4	59	3	1.5	1:1.5	1:1.5	8	472
5	53	3	1.5	1:1.5	1:1.5	8	424
6	32	3	4.6	1:1.5	1:1.5	46	1472
7	29	3	4.6	1:1.5	1:1.5	46	1334
8	59	3	4.6	1:1.5	1:1.5	46	2714
[Volumen Total							11394

3.8 RESULTADOS DEL DISEÑO

En las tablas a continuación, se resumen las principales características y parámetros empleados para el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la empacadora, considerando un período de vida útil del proyecto de 4 años.

Tabla 5-. Características principales del sistema de tratamiento

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	INICIO
Periodo	Año	1999
Caudal instantáneo	l/seg.	3.29
Caudal diario	m ³ /día	80
Carga total diaria	Kg./día	14.5
Concentración de DBO ₅	mg/l	180
Temperatura del aire mes más frío	°C	16
Temperatura del agua mes más frío	°C	21.3
Constante de reacción de DBO	l/día	0.3

Tabla 6.- Características de diseño de las lagunas Anaerobias

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Carga superficial	Kg.DBO ₅ /ha.día	828
Concentración de DBO del efluente	mg/l	180
Reducción de DBO	%	0.35
Profundidad	m	4.6
Largo	m	30
Ancho	m	12
Volumen útil sin retención de lodos	m ³	1440
Area de superficie útil	m ²	360
Volumen para acumulación de lodos	m ³	216
Volumen Total	m ³	1656
Tiempo de retención hidráulica	Días	10
DBO afluente	Kg. DBO/día	9.4
	mg DBO/día	117.6

Tabla 7 .- Características de diseño de las lagunas Facultativas

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Temperatura del agua	°C	23.3
Carga superficial	Kg.DBO/ha.día	117
Profundidad	m	1.5
Largo	m	45
Ancho	m	36
Volumen total	m ³	2430
Area superficial	m ²	1620
Tiempo de retención	días	15
Concentración de DBO afluente	mg/l	10.1
Eficiencia de la laguna facultativa	%	91
Eficiencia laguna Anaerobia más Facultativa	%	94

Tabla 8 -. Sistema de pretratamiento y bombeo

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Reja de desbaste	1
Tamices	2
Bombas sumergibles	2
Tubería de aducción	36 m
Accesorios	7
Cámara de succión	1.6 m ³

3.9 EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL DISEÑO

Los procesos unitarios escogidos para el tratamiento de nuestro efluente tienen la capacidad suficiente para reducir la cantidad de materia orgánica producida en la empacadora.

En la tabla a continuación se describen los porcentajes de eficiencia de remoción de los principales contaminantes por cada uno de los procesos unitarios.

Tabla 9 .- Eficiencia de los procesos unitarios

Unidad de tratamiento	DBO	DQO	SS	P	N orgánico	NH₃-N
Reja de barras	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Tamices	Nulo	Nulo	0-5	Nulo	Nulo	Nulo
Laguna anaerobia	30-40	30-40	50-65	10-20	1 0-20	0
Laguna Facultativ.	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15

El sistema de pretratamiento instalado para el tratamiento de nuestras aguas residuales, permite la retención de sólidos con tamaños superiores a los 15 mm en las rejillas. Estos desechos pueden ser piedras, plásticos, trapos, etc. En lo que respecta al tamiz utilizado, el cual va a tener una abertura libre de 2 mm se podrán retener entre el 5 y el 10% de los sólidos suspendidos afluentes, y por ende partículas de diámetro inferior a 15 mm.

Las lagunas anaerobias proyectadas, permiten la reducción del 35 % de la DBO y tiene la función de sedimentadores primarios, reteniendo hasta el 60 % de los sólidos suspendidos.

Las lagunas facultativas, constituyen la última unidad de tratamiento del agua residual, en ellos se reduce hasta un 90 % de la DBO proveniente de la laguna anaerobia y 90 % de los sólidos suspendidos. En conjunto, el sistema de lagunas anaerobias y facultativas, permite la eliminación de un 94 % de la DBO inicial del efluente

3.10 ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

3.10.1 Costo de la Unidad de Pretratamiento

Los costos en esta **área** están relacionados con la instalación de una rejilla de desbaste de acero inoxidable de (0.25 *0.25)m y 15 mm de abertura entre rejas. La unidad está conformada también por dos tamices de acero inoxidable con medidas de (0.98 * 0.80) m, el primero posee aberturas de 4 mm, y el segundo tiene aberturas de 2 mm.

Para la instalación de la unidad de tratamiento será necesario construir un canal de conducción del agua proveniente de la empacadora el cual se conectará con la cámara de succión. El costo total de la estructura de pretratamiento es de 1045 \$US.

3.10.2 Costo del Sistema de Bombeo

La estación de bombeo estará integrada por dos bombas sumergibles marca Gould con una potencia de 1 HP cada una. Completan la instalación el pozo de bombeo, la parte eléctrica, los accesorios de conexión y la tubería de aducción que conduce el agua hasta las lagunas anaerobias. El costo de esta unidad es de 3071 \$US.

3.10.3 Costo de Construcción de las Lagunas

El mayor costo en esta unidad, está relacionado con el alquiler de maquinaria para el movimiento de tierra para construcción de las dos lagunas anaerobias y de la laguna facultativa. Otro costo adicional va a ser la instalación de las tuberías que servirán de entrada y salida del agua residual. El costo total de esta obra será de 12 097 \$US.

3.10.4 Costo de Mantenimiento

Este rubro está relacionado con la limpieza de todo el sistema de tratamiento, la verificación del su adecuado funcionamiento y la revisión o reparación de posibles daños el que será realizado por el personal de mantenimiento de la planta.

3.10.5 Costo Total de la Obra

En el Anexo D se resumen los costos de instalación de cada unidad de tratamiento, junto con los gastos imprevistos y de construcción de la obra. El costo total del proyecto es de 21 078.5 \$US.

CAPITULO IV .-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El nivel actual de desarrollo de la industria procesadora de camarón exige la implementación de sistemas de depuración de sus efluentes, para reducir el impacto sobre los medios receptores.
2. Las características físico – químicas y microbiológicas del agua residual analizada, indican que el efluente a tratar es biodegradable, por lo cual se posibilita el empleo de un sistema de tratamiento biológico mediante lagunas de oxidación.
3. Tomando en cuenta parámetros como la característica del efluente, condiciones climáticas, disponibilidad de terreno y tipo de suelo, se ha diseñado un sistema de tratamiento compuesto por las siguientes unidades: un sistema de rejillas y tamices para el desbaste; un sistema de bombeo; dos lagunas anaerobias que funcionaran en paralelo con un volumen total de 1600 m^3 y una laguna facultativa con capacidad de 2400 m^3 .
4. La unidad de pretratamiento permitirá la eliminación de partículas sólidas de tamaño superior a los 2 mm; las lagunas anaerobias reducirán más del 35% de la DBO_5 y un 60% de los sólidos suspendidos; la acción conjunta de las lagunas permitirá reducir hasta un 95% de los contaminantes más importantes del efluente.

5. La validez de los valores de diseño obtenidos para el sistema de tratamiento, están justificados si se comparan con los resultados obtenidos mediante la aplicación informática del “Programa de cálculo y diseño de depuradoras” del Manual de Depuración URALITA (Anexo A).

6. El análisis económico del proyecto, indica que se incurre en un gasto de \$20 357 dólares para su implementación. Se considera que este gasto puede ser solventado por las empresas del ramo. Claro es que el costo no va a representar un incremento en la rentabilidad del negocio, pero si se considera que se está cumpliendo con las normas ambientales nacionales e internacionales, y estas a su vez se volverán más rigurosas, a la larga esto se va a reflejar en una mayor aceptabilidad del producto por parte de los importadores, garantizando de esta forma el prestigio de la industria.

7. El estudio realizado por la empresa Interandina de Construcciones a el **efluente** con los mismos parámetros de caracterización del agua residual, utilizaron un proceso de depuración convencional mediante los siguientes procesos unitarios (sedimentación - decantación, coagulación - floculación, filtración rápida.), sistema que permite similares eficiencias al proyecto por lagunas de estabilización, presentan un **análisis** económico de \$150.000 dólares que comparado al **análisis** económico de nuestro proyecto por sistemas de lagunajes es 7,3 veces mayor. Por lo tanto el presente proyecto por lagunajes es técnico y económicamente factible.

8. El sistema de tratamiento por lagunaje no requiere altos costos de explotación y mantenimiento a corto plazo comparado con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las necesidades de mano de obra pueden ser solventadas por el personal de la misma empacadora.

9. Las necesidades de energía son mínimas.

10. Las lagunas de oxidación absorben fácilmente variaciones de cargas puntuales, debido a su efecto regulador. Los rendimientos en la eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión son aceptables.

11. Es un proceso natural o casi natural, que puede ser implementado con relativa facilidad en las plantas empacadoras y empresas con descargas similares.

ANEXOS

ANEXO A

APLICACIÓN INFORMATICA DE DISEÑO Y CALCULO DE DEPURADORAS.

◆ INSTALACION DE LA APLICACION

La aplicación reside en 2 disquetes de 3,5 pulgadas denominados Disco N°1 y Disco N°2. Para poder ejecutarse, es necesario llevar a cabo la instalación de los disquetes en el disco duro del ordenador, donde resida Microsoft Windows.

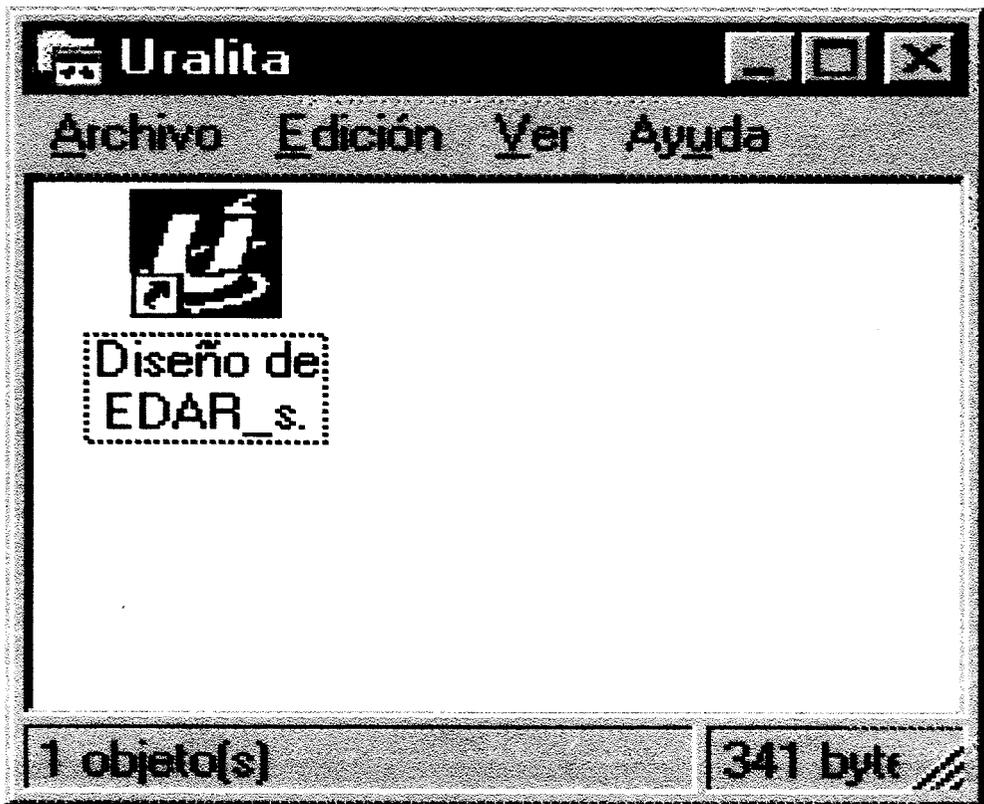
Para instalar la aplicación se debe seguir los siguientes pasos:

- ◆ Situar en el directorio principal del PC. (C:\)
- ◆ Introducir el disquete denominado Disco N°1 en la unidad de 3.5 pulgadas (por lo general suele ser la unidad A).
- ◆ Cambiar a dicha unidad por defecto. Teclar A: y Enter
- ◆ Teclar A:\ INSTALA y pulsar , Enter

A partir de este momento, seguir los pasos que se indiquen en la pantalla del PC. El programa de instalación, una vez que haya terminado de copiar el primer disquete, pedirá que se introduzca el segundo disquete denominado Disco N°2 y terminará de realizar la instalación.

Una vez que se indique en la pantalla el fin de la instalación, la próxima vez que se entre a Microsoft Windows, aparecerá un grupo de programas denominado **Uralita** y dentro de este grupo el icono de la aplicación Diseño de **EDAR**, s.

FIGURA 5.- ICONO DE LLAMADO



CORRIDA DEL PROGRAMA

Aplicando dos clicks al ratón aparece la pantalla de inicio.

FIGURA 6.- PANTALLA DE INICIO

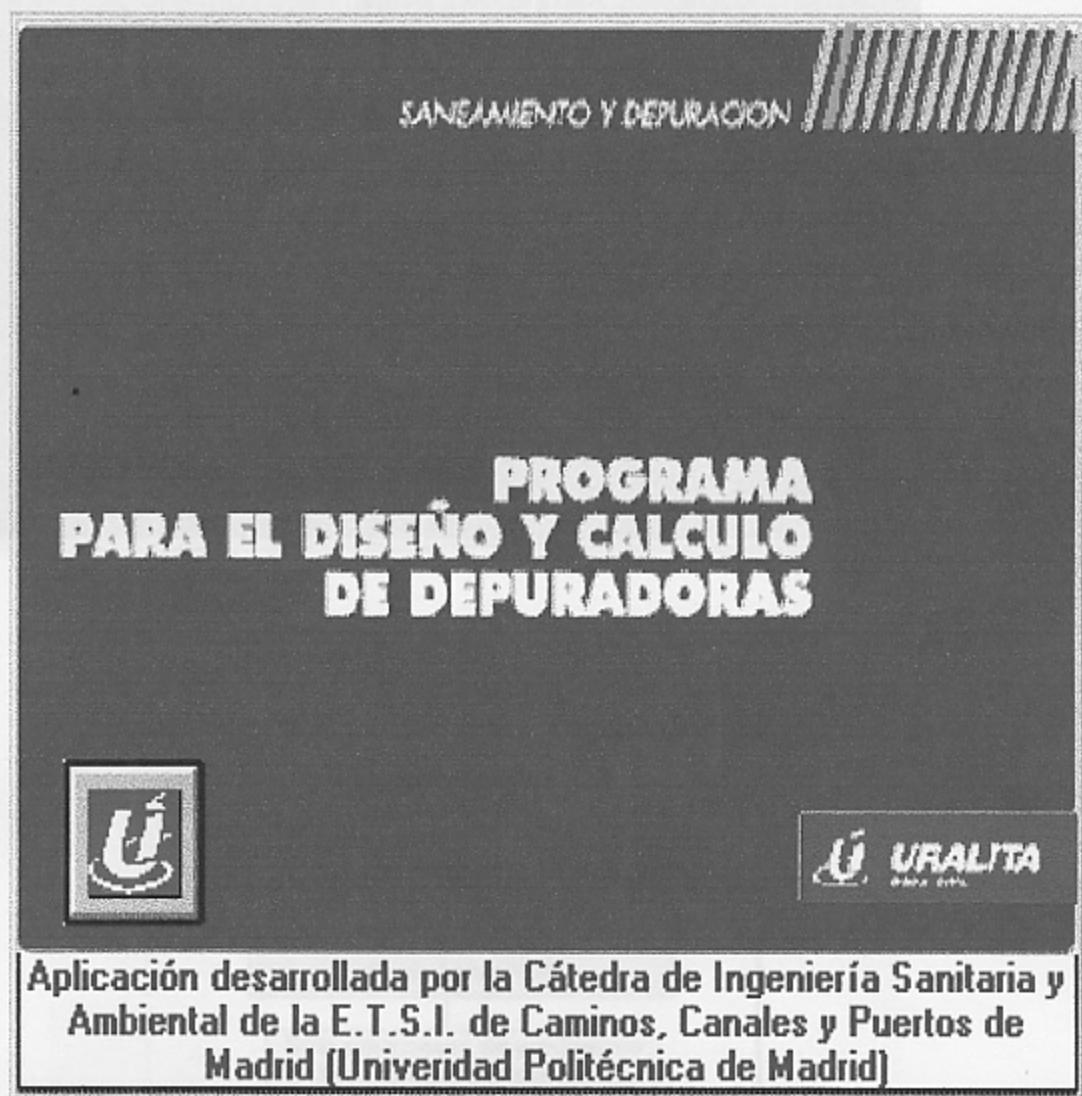


FIGURA 7.- SELECCIÓN DEL TIPO DE DEPURADORA

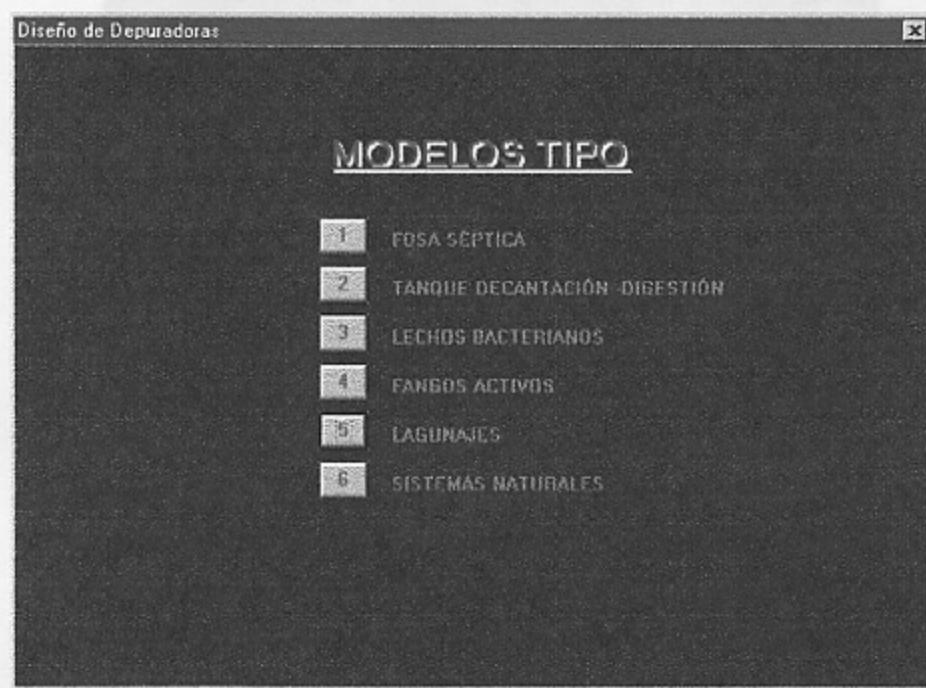


FIGURA 10.- TIPOS DE DEPURADORAS

FIGURA 8.- TIPO DE PARAMETROS

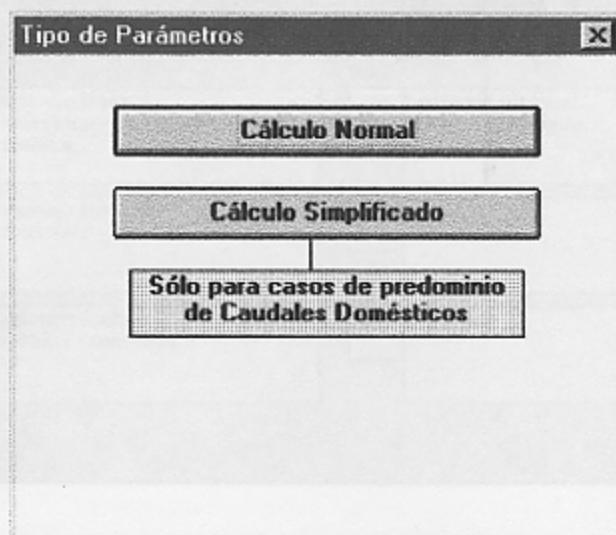


FIGURA 9.- PARAMETROS DE DISEÑO

Parámetros de Diseño

Datos de Entrada

Caudal de diseño (m ³ /d)	80
Coefficiente Punta	2
Coefficiente Máximo	2
DBO5 entrada (mg/l)	180
DBO5 entrada (Kg/d)	14.4
S.S.T. entrada (mg/l)	495
S.S.T. entrada (Kg/d)	39.6
S.S.V. entrada (mg/l)	250
S.S.V. entrada (kg/d)	20

Condiciones exigidas a la salida

DBO5 salida (mg/l)	36
DBO5 salida (Kg/d)	2.88
S.S.T. salida (mg/l)	99
S.S.T. salida (Kg/d)	7.92

FIGURA 10.- TIPOS DE DEPURADORAS

MODELO SUBTIPO

Modelo Tipo Seleccionado: 5.- LAGUNAJES

N Lagunaje Natural. Anaeróbica - Facultativa - Aeróbica.	Q Lagunaje Artificial. Aireada - Aireada - Aeróbica.
O Lagunaje Natural. Facultativa - Aeróbica - Aeróbica.	
P Lagunaje Artificial. Aireada - Aeróbica - Aeróbica.	

FIGURA 13.- SELECCIÓN DEL TIPO DE LAGUNA

**FIGURA 11.- DISEÑO DE LOS DIFERENTES PROCESOS UNITARIOS
(ALVIADERO)**

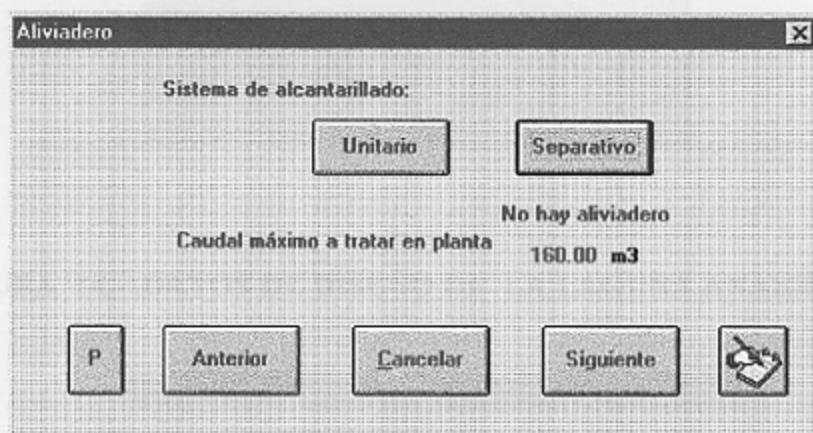


FIGURA 12.- DISEÑO DEL SISTEMA DE DESBASTE

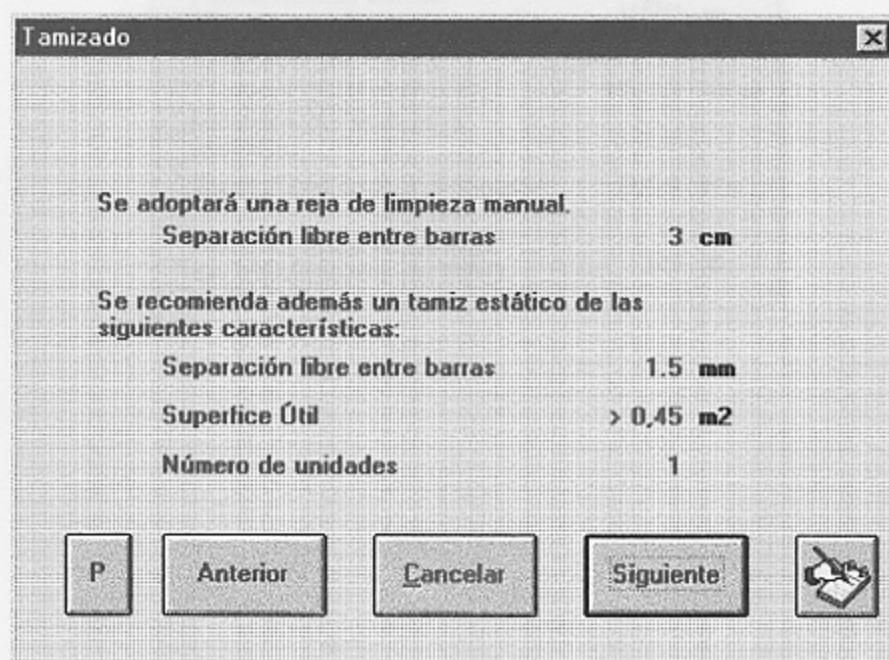


FIGURA 13.- SELECCIÓN DEL TIPO DE LAGUNA

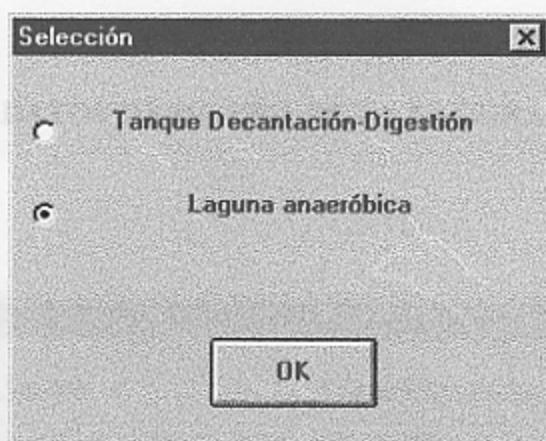


FIGURA 14.- DATOS DE DISEÑO DE LA LAGUNA ANAEROBICA

Laguna Anaeróbica	
Condiciones de Verano	
Q medio diseño (m ³ /d)	160.00
Kg DBO5 entrada/día	14.40
Modificar Condiciones Verano	
Superficie Total Lagunaje	0.04 Ha
Profundidad útil	4.50 m
Profundidad fondo almacenamiento fangos	0.60 m
Volumen de Balsa	1,620.00 m ³
Tiempo de Retención	10.13 días
Número de Balsas a instalar	1
Superficie unitaria laguna	0.04 Ha
Rendimiento obtenido en eliminación de DBO	65 %

ANEXO B

FIGURA 15.- DATOS DE DISEÑO DE LA LAGUNA FACULTATIVA

LEGISLACIÓN EXISTENTE SOBRE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL AGUA

Laguna Facultativa [X]

Condiciones de Verano		Condiciones de Invierno	
[Modificar Condiciones de Verano]		[Modificar Condiciones de Invierno]	
Tiempo de Retención	15.0 días	Tiempo de Retención	15.0 días
Volumen necesario	2,400 m ³	Volumen necesario	2,400 m ³
Se adoptará un volumen de 2,400.00 m ³ Profundidad Útil (m) [1] [1,25] [1,5] [1,75] [2] Profundidad Útil adoptada 1.00 m Superficie 2,400.00 m ² Prof. Almacenamiento Lodos 0.6 m			
Carga Orgánica	21.00 Kg DBO Ha-día	Carga Orgánica	37.20 Kg DBO Ha-día
Número de Unidades	[1]		
Superficie unitaria	2,400 m ²		
[P]	[Anterior]	[Cancelar]	[Siguiente] []

SANCIONES

En orden de prioridad, en el Reglamento se tendrá en cuenta los siguientes usos del agua, en que también se explica lo que se entiende por cada uno de ellos:

- * Consumo humano y doméstico
- * Preservación de flora y fauna

ANEXO B

LEGISLACIÓN EXISTENTE SOBRE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL AGUA

Luego de varios años en que la principal respuesta de las autoridades de Gobierno nacionales, fue el establecimiento de comentarios sobre la contaminación, en el año 1989, se promulgaron normas de control específico. Esta nueva regulación, fue promulgada en el Registro Oficial No. 204 del 5 de Junio de 1989, como Acuerdo No. 214 del Ministerio de Salud Pública, bajo el nombre de: **“Reglamento para la Prevención y Control de Contaminación Ambiental, en lo Relativo al Recurso Agua”** Este Reglamento, esta representado por el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INHERI), y la Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral (DIGMER). A esta comisión, le corresponde asesorar al Comité Interinstitucional de Protección del ambiente, en materia de aplicación del Reglamento en cuestión y proponer reformas a los criterios de calidad y normas de descarga. El IEOS, el INHERI y la DIGMER, están facultados también para realizar inspecciones periódicas y establecer multas y sanciones.

En orden de prioridad, en el Reglamento se tendrá en cuenta los siguientes usos del agua, en que también se explica lo que se entiende por cada uno de ellos:

- Consumo humano y doméstico
- Preservación de flora y fauna

- Agrícola
- Pecuario
- Recreativo
- Industrial
- Transporte
- Estética

De igual manera en el Reglamento se establecen los criterios de calidad de las aguas en función de su uso. A partir del año 1994, de las instituciones miembros de comisión técnica, solamente la DIGMER es mantiene como tal, pues el IEOS pasó a formar parte de la Subsecretaria de Saneamiento Ambiental en el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), mientras que el INHERI, es hoy el Consejo Nacional de Recursos Hidráulicos.

Luego de estos cambios, la Subsecretaria de Salud Zona II, organizó la comisión técnica, para su jurisdicción, y es como opera en la actualidad y lo conforman:

- ◆ La Dirección General de la Marina Mercante
- ◆ La Subsecretaria de Saneamiento Ambiental
- ◆ El Consejo Nacional de Recursos Hidráulicos
- ◆ La Municipalidad de Guayaquil, y
- ◆ La Dirección Provincial de Salud del Guayas.

ANEXO C

CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICAS DEL EFLUENTE

Tabla 10 -. Parámetros físicos

PARÁMETROS	VALORES	UNIDAD
Turbiedad	90	UTJ
Color	15	UPt/Co
Olor	Desagradable	
Temperatura ambiente	27	°C
pH a 25 °C	6.8	
Conductividad específica	660	μ ohmios/cm
Sólidos disueltos	435	mg/l
Sólidos suspendidos	60	mg/l
Sólidos totales	495	mg/l
Sólidos sedimentables	2	ml/l

Tabla II -. Parámetros Químicos

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
DBO ₅	180	mg/l
DQO	250	mg/l
Oxígeno disuelto	0	mg/l

Tabla 12 -. Sales disueltas

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Cloruro de potasio	8	mg/l
Cloruro de sodio	167	mg/l
Cloruro de calcio	0	mg/l
Cloruro de magnesio	0	mg/l
Sulfato de sodio	10	mg/l
Sulfato de calcio	76	mg/l
Sulfato de magnesio	10	mg/l
Carbonato de sodio	0	mg/l
Carbonato de calcio	0	mg/l
Carbonato de magnesio	158	mg/l
Total de sales disueltas	429	mg/l

Tabla 13 -. Minerales disueltos

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Ca ²⁺	22.4	mg/l
Mg ²⁺	29	mg/l
Na ⁺	69	mg/l
K ⁺	4	mg/l
Fe ²⁺	0.20	mg/l
Mn ²⁺	0	mg/l
NH ₃	2	mg/l
CaCO ₃	0	mg/l
Ca (HCO ₃) ₂	108	mg/l
SO ₄ ²⁻	69	mg/l
Cl ⁻	104	mg/l
NO ₂ ⁻	0	mg/l
NO ₃ ⁻	Trazas	mg/l
PO ₄ ³⁻	0.40	mg/l
Total de minerales disueltos	408	mg/l

Tabla 14 - Dureza, alcalinidad y acidez

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Dureza total (EDTA)	184	mg/l
Alcalinidad (CaCO ₃)	108	mg/l
Dureza permanente (CaCO ₃)	76	
Acidos disueltos a 105 °C	435	mg/l
Ac. Suspendidos a 105 °C	60	mg/l
Acidos Totales	495	mg/l

Tabla 15 - Parámetros microbiológicos

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Aerobios totales	Incontables	Colonias
Coliformes totales	240	NMP/cm
Coliformes fecales	Presencia	
Hongos	6	
Parásitos	Negativo	

Fuente: I boratorio de Química Sanitaria de Aguas del Dr. Aurelio Mosquera.

ANEXO D

TABLA 16.- PRESUPUESTO GLOBAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN \$ US.

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Unidad de desbaste			
Hormigón (canal)	3.5 m ³	250	875
Rejillas	1 u	30	30
Tamices	2 u	70	140
Unidad de Bombeo			
Hormigón (camara)	2.5 m ³	250	625
Bombas 2 " 1hp	2 u	980	1980
Tubería 3" AP	6 u	22	132
Neplos 3"	3 u	1.5	4.5
T 3"	2 u	4.5	9
Válvula de 3"	1 u	13	13
Reductor de 2 a 3	2 u	4	8
Instalación eléctrica	1 u	300	300
Lagunas			
Tubería de 6 "	8 u	16	128
Codos de 6 "	4 u	5	20
TOTAL			\$ 4264.5

Nota : El valor de la mano de obra por instalación ya están incluidos

PRESUPUESTO DE LAS LAGUNAS " CONTINUACION "

Concepto	Cantidad	Horas de trabajo	Costo/ hora	Total
Movimiento de tierra	11394 m ³	380	30	\$11394

TABLA 17.-COSTO GENERAL DE LA OBRA

COSTOS DIRECTOS	\$ 15 658.5
IMPREVISTOS 10%	\$ 1 566
HONORARIOS POR CONSTRUCCIÓN 20%	\$ 3 132
COSTO TOTAL DE LA OBRA	\$ 20 356.5

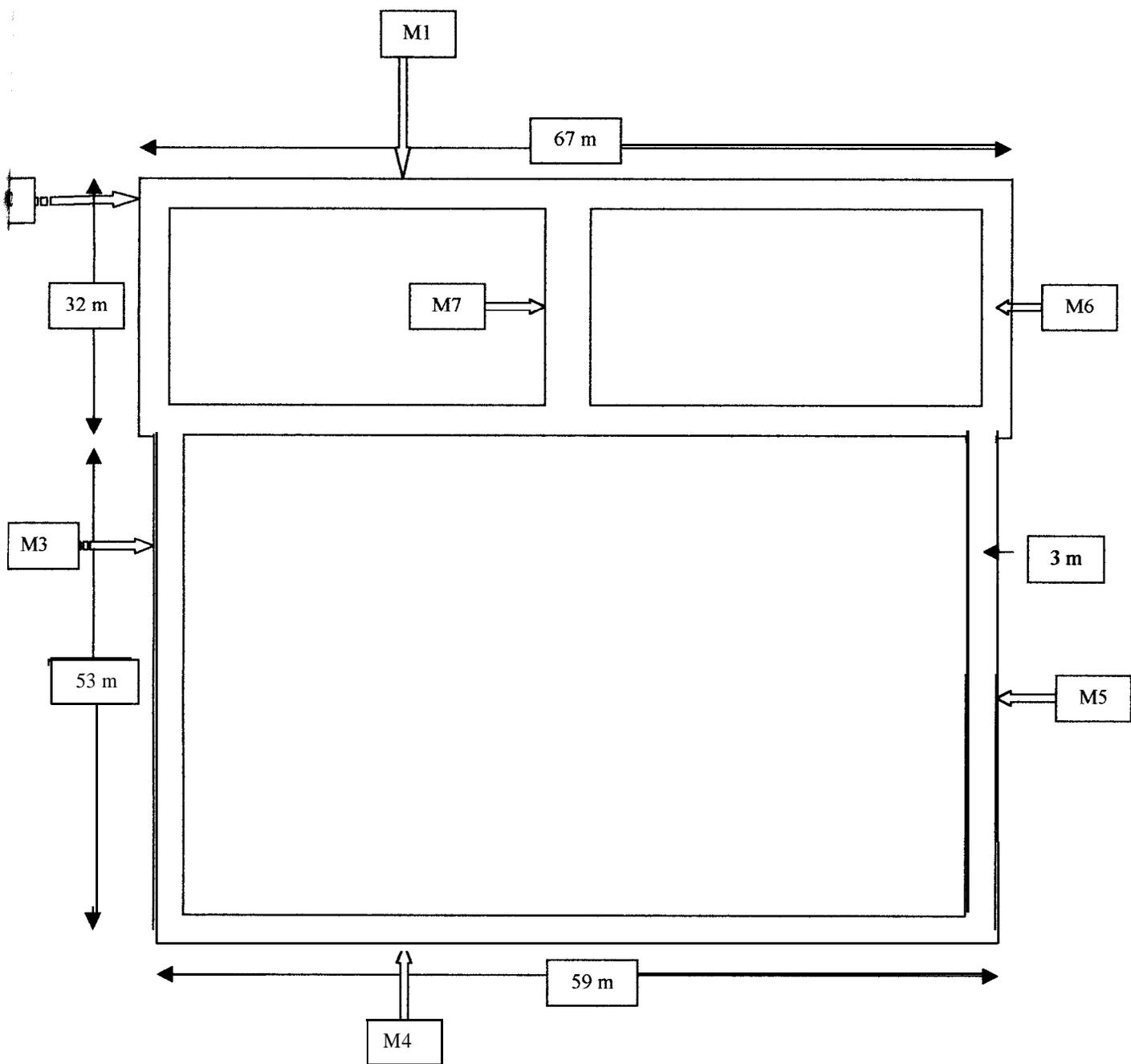
FIGURA 16.- Diagrama de los muros de las lagunas.

FIGURA 17.- CORTE LONGITUDINAL DE LAS LAGUNAS ANAEROBIAS.

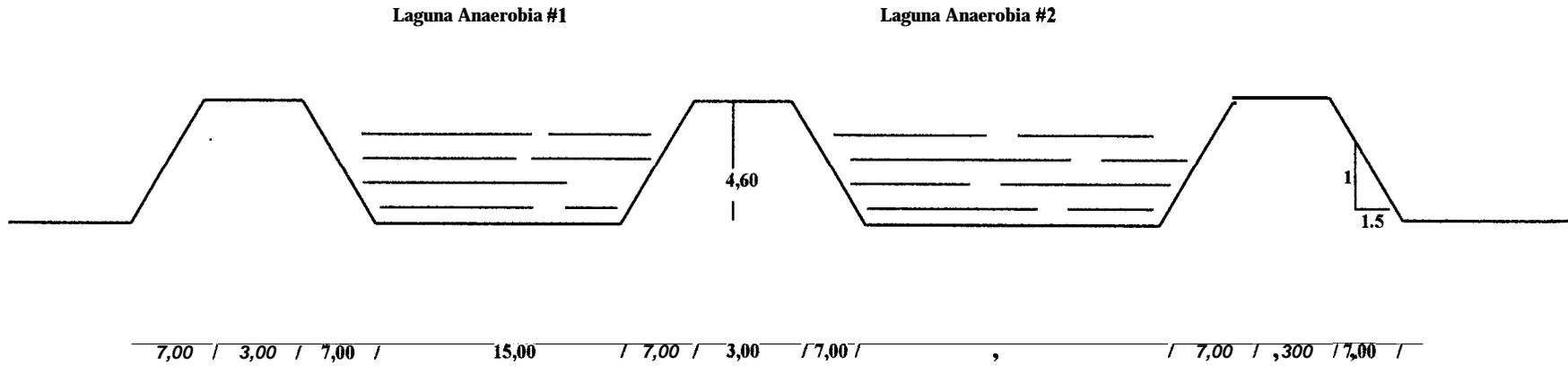
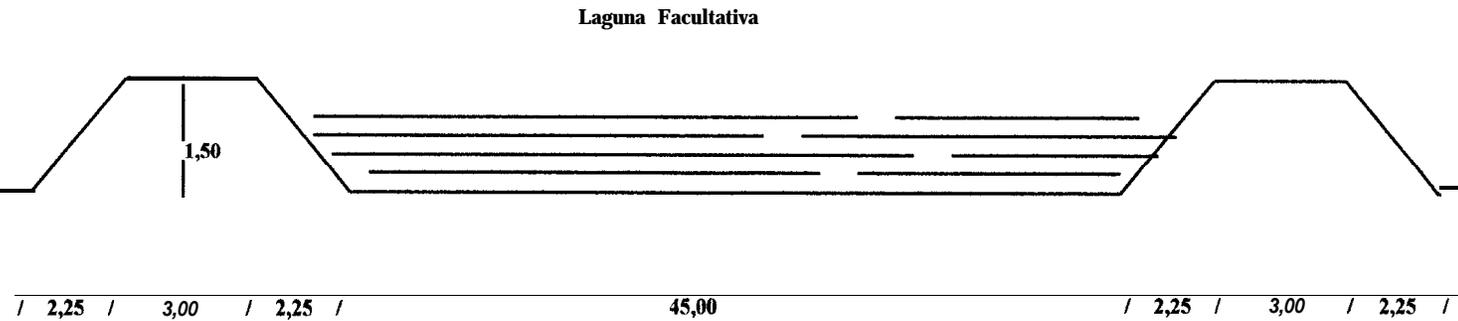


FIGURA 18.- CORTE LONGITUDINAL DE LA LAGUNA FACULTATIVA

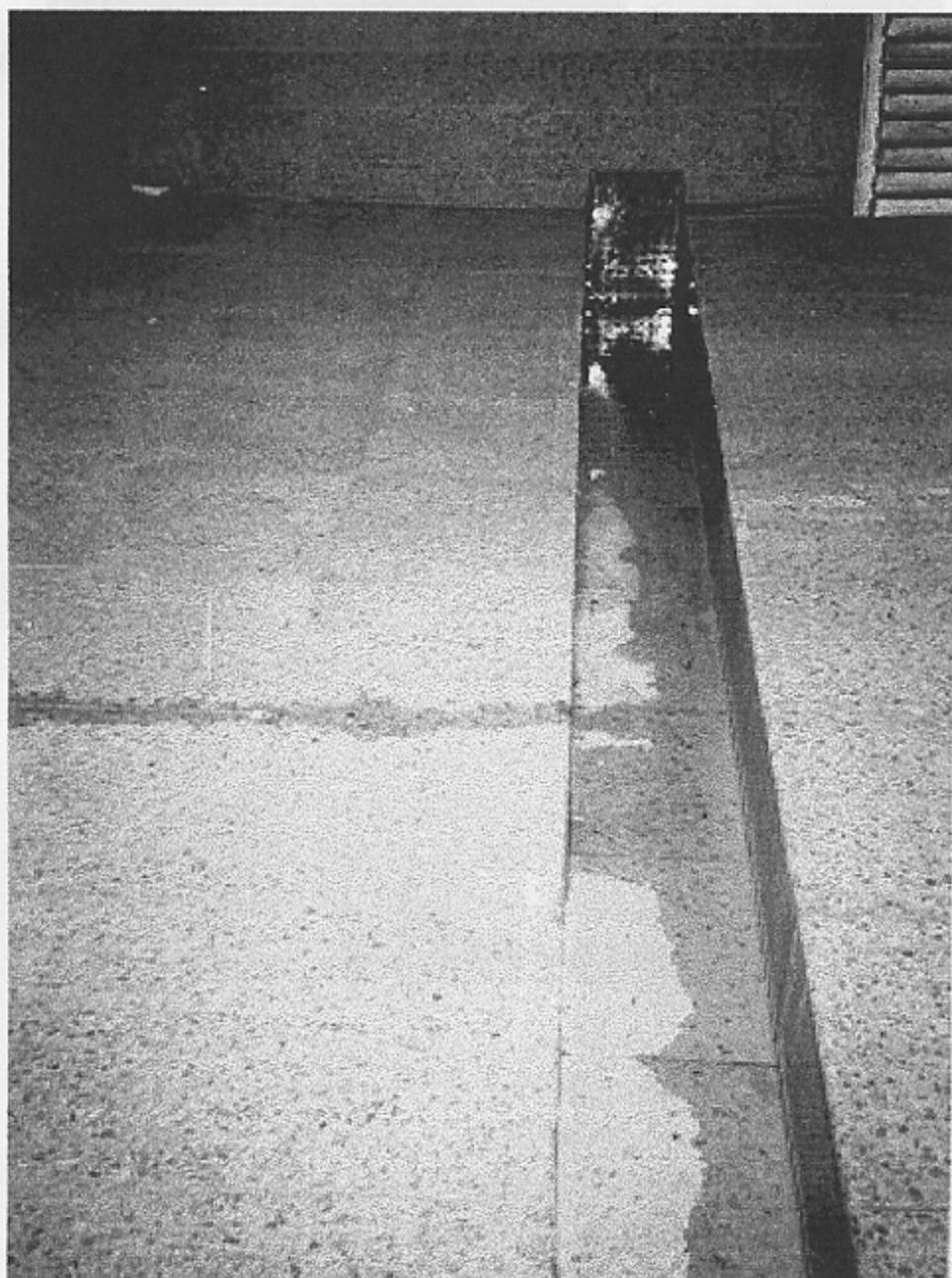


ANEXO F

FOTOGRAFIA 1.- Canal de recolección con rejas para separación de sólidos grande

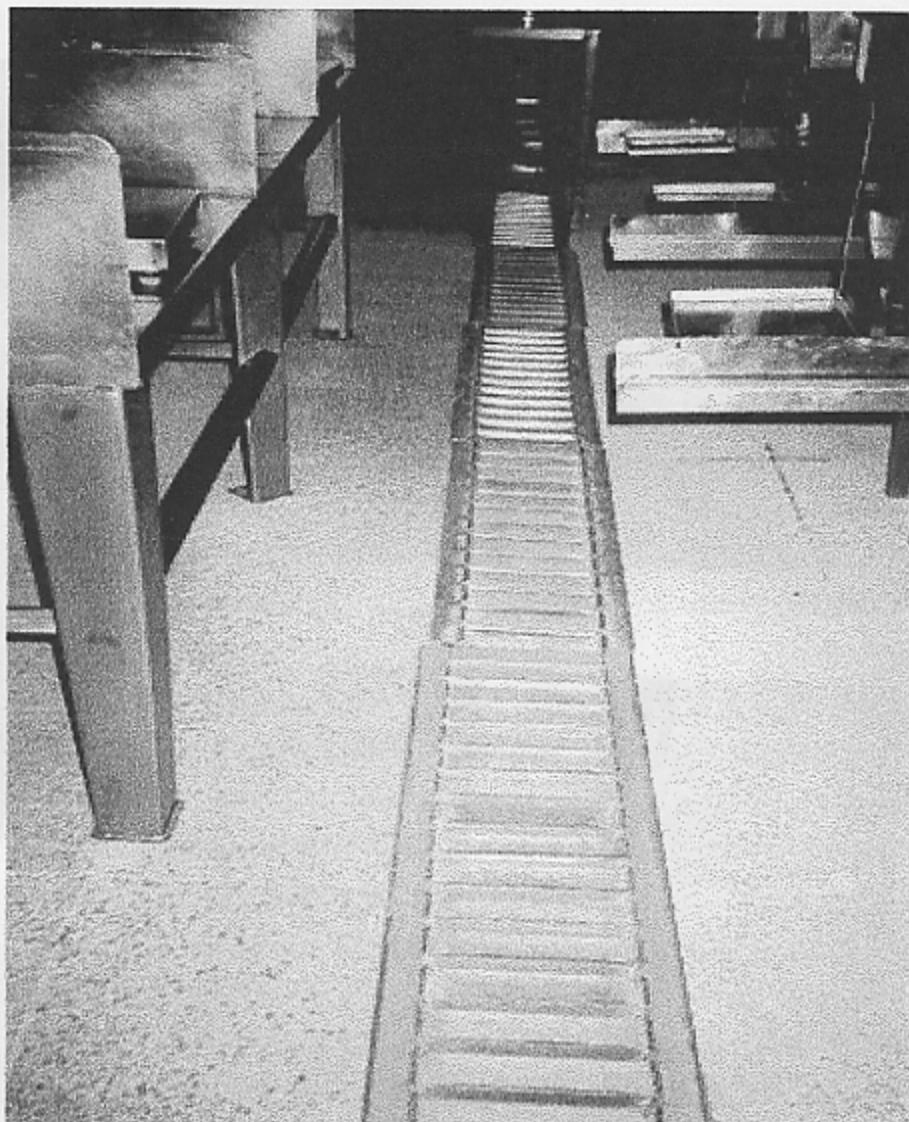
FOTOGRAFIAS:

FOTOGRAFIA 1 -. Canal de recolección del agua residual en la planta.

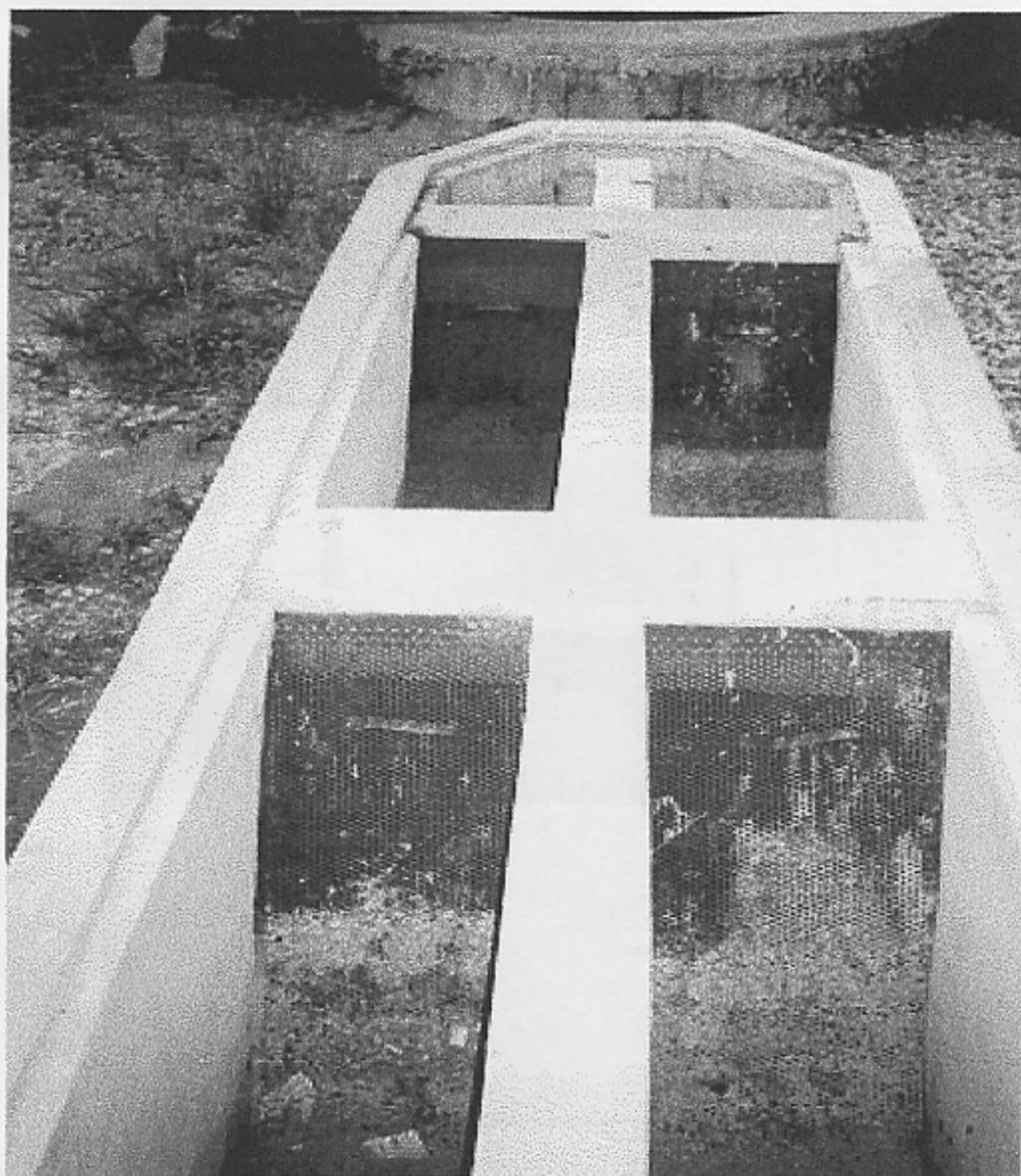


FOTOGRAFIA 2 - Canal de recolección con rejas para separación de sólidos grande

FOTOGRAFIA 3 - Tarridos para la separación de sólidos de menor tamaño



FOTOGRAFIA 3 - Tamices para la separación de sólidos de menor tamaño



FOTOGRAFIA 4 -. Lagunas facultativas y aerobias

FOTOGRAFIA 5 -. Lagunas aerobias



BIBLIOGRAFIA

BAÑOS, G. (1994) *Construcción de Estanques para el Cultivo de Especies*

FOTOGRAFIA 5 -. Lagunas aerobias

BIBLIOGRAFIA

BAÑOS, G. (1994): Construcción de Estanques para el Cultivo de Especies Bioacuáticas. Pp. 85 -98.

COMISION ASESORA AMBIENTAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR (1996) Plan Operativo de Control de Manejo de los Desechos. Pp. 1-20

CHANGUAN, P. I. Y ZAMBRANO, I.C. (1997): Tesis, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, pp. 75-78.

ECUADOR; BANCO CENTRAL DEL ECUADOR (1999): Cifras económicas. (Comercio Exterior del Ecuador, Exportaciones de camarón: <http://explored hoy.net/econo/>)

ECUADOR; FUNDACIÓN NATURA (1991): Potencial Impacto Ambiental de las Industrias en el Ecuador .Exploración Preliminar y Soluciones, pp. 569– 588.

ECUADOR; REGISTRO OFICIAL # 204; 5 de Junio de 1989.

MATAMOROS, D. E. (1997): Diplomado “ Manejo de Efluentes de Procesos Productivos” , Módulo: Tratamiento de Aguas Residuales. ESPOL, Guayaquil. 23 pags.

METCALF & EDDY, INC (1996a): Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización . Volumen I, 3ra edición, McGraw-Hill, pp 228-232, 494-501.

METCALF & EDDY, INC (1996b): Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización . Volumen II, 3ra edición, McGraw-Hill, pp. 507-516, 729-744

MUÑOZ, A. H. , LEHMANN, A. H. y MARTÍNEZ, P. G. (1996): Manual de Depuración URALITA . Editorial Paraninfo S.A., 429 pags.

SCRAGG, A.(1995): Biotecnología para Ingenieros. Sistemas biológicos en procesos tecnológicos. Editorial Limusa, pp. 363-377.

SOLORZANO, C. L.(1989): . Métodos de análisis Químico utilizados en el Curso Latinoamericano de Post-Grado, (Instrumentación de análisis químico de agentes contaminantes en el mar).Boletín 7 # 1

VILLEE, C. A. (1991): Biología. Editorial McGraw Hill, 7ª edición, pp. 69-105.