

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL
REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL
EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE
LAREDO”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SANEAMIENTO**

AUTORES:

Br. Dávila Rojas Esthefany

Br. Flores Rojas Carlos Rodolfo

ASESOR:

Mg. Narváez Aranda Ricardo Andrés

TRUJILLO - PERÚ

2016

ACREDITACIONES

TÍTULO:

“COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL REVESTIMIENTO DE
LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL
DISTRITO DE LAREDO”

AUTORES:

Br. Dávila Rojas Esthefany

Br. Flores Rojas Carlos Rodolfo

APROBADO POR:

Ing. Enrique Francisco Lujan Silva
PRESIDENTE
N° CIP 54460

Ing. Manuel Alberto Vertiz Malabrigo
SECRETARIO
N° CIP 71188

Ing. Oswaldo Hurtado Zamora
VOCAL
N° CIP 63712

Ing. Ricardo Andrés Narváez Aranda
ASESOR
N° CIP: 58776

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE LAREDO”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusándonos de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Atentamente,

Br. Dávila Rojas Esthefany
Br. Flores Rojas Carlos Rodolfo

Trujillo, 12 de Diciembre del 2016.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios por permitirme haber logrado un paso más en mi formación profesional, a mi familia que me ha brindado todo su apoyo para poder concluirla, en especial a mis padres por enseñarme con su ejemplo, por sus consejos, por ayudarme a afrontar las dificultades y apoyarme incondicionalmente, a mis hermanos por comprenderme y ayudarme siempre y a mis tíos Godofredo Rojas y Marino Rojas por sus consejos, aprecio y confianza.

ESTHEFANY DÁVILA ROJAS

DEDICATORIA

Gracias a Dios por ayudarme a salir adelante, y guiarme, para salir de las dificultades que se han presentado en el transcurso de mí camino.

Para mi Madre Anita que siempre me brindó su apoyo, por su infinito amor, cariño y comprensión. Por acompañarme en los buenos y malos momentos. Por ayudarme a que este momento llegara.

Para mis hermanos: Cecilia, Manuel y Amelia; mis sobrinos queridos Claudia, Carlos, Manuelito y Anita por darme las fuerzas que siempre me hacían falta, por el apoyo incondicional de cada uno de ellos.

Para mi amor Lurdes Guevara Velásquez que me ha acompañado en todo momento, motivándome para la culminación de este proyecto.

CARLOS RODOLFO FLORES ROJAS

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mi camino y llenarme siempre de bendiciones.

A mis padres, Julio Dávila y Umbelina Rojas, y hermanos por su confianza, apoyo, guía y paciencia en cada etapa de mi vida.

A mis tíos Godofredo Rojas y Marino Rojas por la confianza que han depositado en mí a lo largo de mi carrera profesional y el apoyo incondicional que me brindan constantemente.

ESTHEFANY DÁVILA ROJAS

AGRADECIMIENTO

Al concluir el presente trabajo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes hicieron posible la culminación del mismo: a mis familiares y amigos, quienes contribuyeron a mi realización profesional y personal; de manera especial, al Ing. Ricardo Narváez Aranda, por guiarme de manera desinteresada en el desarrollo de la tesis.

Sirva esta oportunidad para testimoniarle el reconocimiento y gratitud a todos los docentes de la sección de pre grado de la Universidad Privada Antenor Orrego quienes con sus enseñanzas, esfuerzos y sabios consejos, contribuyeron a mi formación profesional y a hacer realidad mi propósito de ser un Ingeniero Civil.

CARLOS RODOLFO FLORES ROJAS

RESUMEN

“COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE LAREDO”

En la actualidad las lagunas de tratamiento tradicionales presentan problemas de colmatación debido al crecimiento poblacional, además los parámetros como coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), superan los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo que no se realiza un tratamiento adecuado de las aguas residuales.

Por ello la presente tesis está enfocada en la comparación técnica y económica del diseño de lagunas de estabilización en el distrito de Laredo con recubrimiento de geomembranas y otra con recubrimiento de arcilla, para así evaluar los costos y mantenimiento con los diferentes materiales de las lagunas de estabilización.

El diseño de las lagunas de estabilización se realizó siguiendo las recomendaciones del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) y la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se realizó el diseño de las lagunas primarias facultativas y de maduración, además se elaboraron los metrados, costos y presupuestos, también se evaluaron los costos de mantenimiento con las diferentes materiales empleados para la impermeabilización de las aguas residuales.

ABSTRACT

"TECHNICAL - ECONOMIC COMPARISON OF THE LAGOON COATING OF STABILIZATION FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER THROUGH THE USE OF GEOMEMBRANES AND CLAY OF THE DISTRICT OF LAREDO"

Nowadays traditional treatment lagoons present problems of clogging due to population growth. In addition, parameters such as faecal coliforms and biochemical oxygen demand (BOD) exceed the maximum limits for effluents from wastewater treatment plants. That adequate treatment of the wastewater is not carried out.

Therefore, the present thesis is focused on the technical and economic comparison of the design of stabilization lagoons in the Laredo district with geomembrane coating and another one with clay coating, in order to evaluate the costs and maintenance with the different materials of the lagoons of stabilization.

The stabilization lagoons were designed following the recommendations of the Pan American Center for Sanitary Engineering (CEPIS) and OS.090 of the National Building Regulations.

The design of the facultative primary and maturation lagoons was made, in addition the metrados, costs and budgets were elaborated, also the maintenance costs with the different materials used for the waterproofing of the wastewaters were evaluated.

INDICE GENERAL

ACREDITACIONES	i
PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
INDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
1. INTRODUCCION	1
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Delimitación del problema	3
1.3. Características y análisis del problema	4
1.4. Formulación del problema	5
1.5. Formulación de la hipótesis.....	5
1.6. Objetivos de la Investigación	5
1.7. Justificación del estudio	6
1.8. Limitaciones del estudio	6
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.1.1. Antecedente Internacional.....	7
2.1.2. Antecedente Nacional.....	8
2.1.3. Antecedente Local	9
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. Aguas residuales	9
2.2.1.1. Componentes.....	9
2.2.1.2. Fuentes de aguas residuales	11
2.2.2. Métodos de Tratamiento de las aguas residuales	11
2.2.2.1. Tratamiento preliminar	12
2.2.2.2. Tratamiento primario	12
2.2.2.3. Tratamiento secundario	13
2.2.2.4. Cloración.....	14
2.2.2.5. Tratamiento de lodos	14
2.2.3. Principios del tratamiento de aguas residuales.....	15
2.2.3.1. Tratamiento anaerobio.....	15

2.2.3.2.	Tratamiento aerobio	15
2.2.4.	Lagunas de estabilización	15
2.2.4.1.	Tipos de lagunas de estabilización	15
2.2.4.2.	Mecanismos y Factores que intervienen en el proceso de tratamiento	16
2.2.4.3.	Tipos de asociaciones de lagunas de estabilización	19
2.2.4.4.	Criterios de dimensionamiento de las lagunas de estabilización	20
2.2.5.	Construcción de lagunas de estabilización	22
2.2.5.1.	Construcción de Diques	23
2.2.5.2.	Impermeabilización	24
2.2.5.3.	Detalles de construcción	25
2.2.5.4.	Otras consideraciones	31
2.2.6.	Diseño de las lagunas de estabilización	32
2.2.7.	Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización	37
2.2.7.1.	Ventajas	37
2.2.7.2.	Desventajas	38
2.2.8.	Operación y mantenimiento de la planta de tratamiento	39
2.2.8.1.	Requerimientos previos	39
2.2.8.2.	Proceso de llenado de las lagunas de estabilización	41
2.2.8.3.	Control de infiltración	42
2.2.8.4.	Operación y mantenimiento del sistema preliminar	43
2.2.8.5.	Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización	45
2.2.8.6.	Prevención de olores	46
2.2.9.	Geomembranas	46
2.2.9.1.	Generalidades	46
2.2.9.2.	Metodología de diseño	47
2.2.9.3.	Tipos de geomembranas	47
2.2.9.4.	Ventaja del uso de geomembrana HDPE	48
2.3.	Definición de términos básicos	49
3.	MATERIAL Y METODOS	51
3.1.	Material	51
3.1.1.	Población	51
3.1.2.	Muestra	51
3.1.3.	Unidad de Análisis	51
3.2.	Método	51

3.2.1.	Nivel de investigación	51
3.2.2.	Diseño de investigación.....	51
3.2.3.	VARIABLES DE ESTUDIO Y OPERACIONALIZACIÓN	51
3.2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.2.5.	Técnicas de procesamiento de datos.....	52
4.	PROCESAMIENTO DE DATOS	53
4.1.	Desarrollo de los procesos de tratamiento de aguas residuales del distrito de Laredo.....	53
4.2.	Costos de operación y mantenimiento	73
5.	RESULTADOS	78
5.1.	Estimación de la población	78
5.2.	Diseño de la laguna de estabilización	78
5.3.	Determinación de metrados, costos unitarios y presupuestos	80
5.3.1.	Laguna de estabilización con geomembranas.....	80
5.3.2.	Laguna de estabilización con arcilla.....	83
5.4.	Comparación técnica y económica	87
6.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	89
7.	CONCLUSIONES	91
8.	RECOMENDACIONES	93
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
	ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lagunas de estabilización en América Latina y el Caribe.....	22
Tabla 2: Operacionalización de la variable independiente.....	52
Tabla 3: Operacionalización de la variable dependiente.....	52
Tabla 4: Población estimada.....	56
Tabla 5: Aporte per cápita para aguas residuales domesticas	57
Tabla 6: Datos meteorológicos de la estación de Trujillo-000406	58
Tabla 7: Datos de precipitación y evaporación - Estación de Trujillo.....	63
Tabla 8: Factor de dispersión según la relación largo/ancho	64
Tabla 9: Calendario de actividades de mantenimiento de las lagunas de estabilización	73
Tabla 10: Población estimada para el año 2036	78
Tabla 11: Características de la laguna primaria facultativa	78
Tabla 12: Características de la laguna de maduración.....	79
Tabla 13: Presupuesto de la laguna de estabilización con geomembrana.....	81
Tabla 14: Presupuesto de la laguna de estabilización con arcilla.....	84
Tabla 15: Datos generales del presupuesto con geomembrana	87
Tabla 16: Datos generales del presupuesto con arcilla	87
Tabla 17: Resumen de costos de operación y mantenimiento de una laguna con geomembrana y arcilla	88
Tabla 18: Especificaciones técnicas de polietileno de alta densidad.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Localización del proyecto	3
Figura 2: Entrada sumergida y elevada.	26
Figura 3: Unidad de entrada elevada de lagunas de estabilización.....	27
Figura 4: Unidad de entrada y transferencia.....	27
Figura 5: Estructura de transferencia sumergida.	28
Figura 6: Unidad de salida lagunas de estabilización.	29
Figura 7: Características de dimensiones de la laguna	33
Figura 8: Dimensiones del ancho de la laguna primaria facultativa.....	62
Figura 9: Dimensiones del largo de la laguna primaria facultativa	62
Figura 10: Dimensiones del ancho de la laguna de maduración	69
Figura 11: Dimensiones del largo de la laguna de maduración.....	69

1. INTRODUCCION

1.1. Realidad problemática

Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), ente regulador del sector agua potable y saneamiento en el Perú, indica: El tratamiento de aguas residuales se encuentra a nivel nacional en 32.7% al cierre del año 2010 con proyección al 33% al cierre del año 2011. (Flores, R. 2014).

El Ing. Ignacio Benavent, principal investigador del proyecto de optimización en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Piura, explica que las lagunas de tratamiento tradicionales presentan problemas de colmatación caros de eliminar, con la consecuencia que las operaciones de mantenimiento se dificulten y encarecen. El problema viene agravado por la dificultad de adecuar las lagunas del crecimiento poblacional.

La revista oficial del Colegio de Ingenieros del Perú - consejo departamental de la libertad, indica que la ciudad de Trujillo cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, Covicorti y El Cortijo, y seis lagunas de estabilización: El Tablazo, Valdivia, El Milagro, Huanchaco, Salaverry y Las Delicias. Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan la tecnología de lagunas aireadas seguidas de lagunas de estabilización. (Mimbela y Peirano, 2015).

Según informe de la SUNASS (2014), del total del volumen de aguas residuales evacuadas por las conexiones de alcantarillado, el 54,7% es tratado en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Sin embargo, el tratamiento de las aguas residuales en las PTAR operadas por la empresa es deficiente, debido a que en la mayoría de ellas, los parámetros como coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), superan los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas establecidos por la normatividad. Además una de las unidades de la laguna aireada de Covicorti se encuentra paralizada por

falta de limpieza de los lodos secos, siendo su volumen aproximadamente de 10 000 m³. La deficiencia en la operación de los aireadores repercute en problemas de generación de malos olores en las lagunas por el déficit de oxígeno o prevalencia de procesos anaerobios, siendo necesario renovar los equipos de aireación.

Los revestimientos de polietileno y de vinilo han sido utilizados en algunas ocasiones pero el costo es relativamente alto en países en desarrollo. Los recubrimientos de plástico se utilizan por lo general en unidades relativamente pequeñas y más que nada en lagunas aireadas mecánicamente.

La finalidad de la impermeabilización de cualquier tipo de laguna de estabilización es de evitar la infiltración del agua al subsuelo, pudiendo ser de tierra compacta, cemento, asfaltos, bentonita y materiales sintéticos (geomembranas). Por ello para cumplir esta condición lo más adecuado es la utilización de geomembranas.

Por lo tanto los costos de una laguna de estabilización de arcilla a largo plazo son más elevados debido a que su mantenimiento es constante por el crecimiento de plantas acuáticas y erosión de taludes, en cambio una laguna de estabilización con geomembrana requiere de menos mantenimiento.

En la actualidad, el distrito de Laredo no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas servidas, por lo que la descarga final de los residuos que provienen de las redes de alcantarillado, llegan hacia los canales de regadío existente, dañando los sembríos y generando contaminación ambiental tanto de la tierra como del agua. Además, se suma a esto la deficiencia en la prestación de servicios de saneamiento y tratamiento de aguas residuales; según la municipalidad de Laredo, las aguas residuales son evacuadas a lo largo de la acequia Mochica.

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del

Ambiente (CEPIS), “el tratamiento y uso sanitario de las aguas residuales en los países en desarrollo, debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos que ocasionan enfermedades endémicas. La opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente el objetivo de “no patógenos”, corresponde a las lagunas de estabilización”.

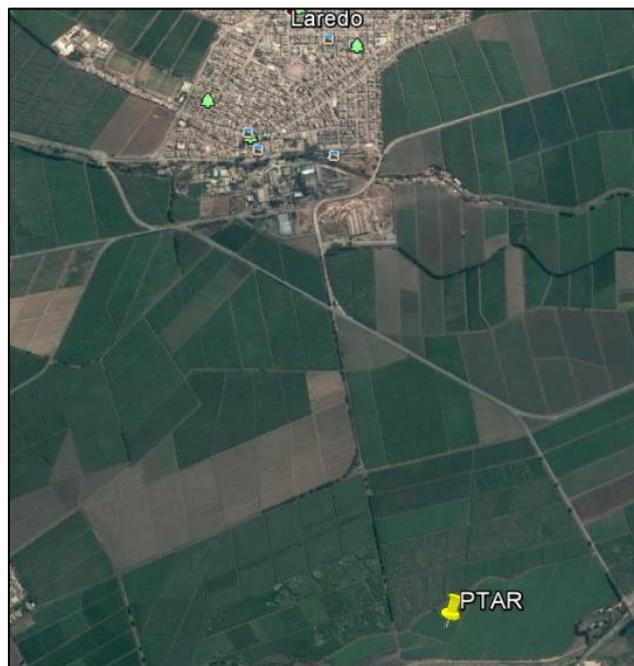
1.2. Delimitación del problema

La ubicación de la laguna de estabilización en el distrito de Laredo que se propone, se encuentra delimitado por las coordenadas UTM:

Norte: 9102800; Este: 725500, en la zona 17L.

El desarrollo de la investigación se llevará a cabo desde Agosto hasta Noviembre del 2016.

Figura 1: Localización del proyecto



Fuente: Google earth

1.3. Características y análisis del problema

Características

- Las lagunas de estabilización requieren amplia superficie de terreno.
- Desajuste en el caudal de entrada.
- Las lagunas de estabilización de arcilla tienen mayor infiltración de las aguas residuales.
- Mala compactación de lagunas de estabilización de arcilla, genera erosión causada por las olas provocadas por el viento.
- Inadecuado mantenimiento de las lagunas de estabilización.
- Mayor costo de mantenimiento de lagunas de estabilización de arcilla.

Análisis de características problemáticas

- Las lagunas requieren de una amplia superficie de terreno debido a que el sistema de laguna de estabilización pueden ser en serie o en paralelo, es por ello este sistema está conformado por varias lagunas para el tratamiento adecuado de aguas residuales.
- El caudal aumenta o disminuye con respecto al aumento poblacional. Esto provoca que se rompa el equilibrio necesario entre las distintas fases de la depuración anaerobia, y se interrumpa el proceso.
- Las lagunas de estabilización de arcilla tienen mayor infiltración debido a la mala compactación e impermeabilización.
- La mala compactación de las lagunas de estabilización genera erosión causada por olas provocadas por el viento, debido a que la pendiente del dique no es adecuada, por lo que la pendiente en taludes internos debe ser de 1:3 y en taludes externos de 1:5.
- Inadecuado mantenimiento de las lagunas de estabilización. pueden generar problemas como proliferación de insectos por el exceso de vegetación acuática.
- Los costos de una laguna de estabilización de arcilla son más elevados debido a que su mantenimiento es constante por el crecimiento de plantas acuáticas y erosión de taludes.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál de los materiales entre la geomembrana y arcilla presenta mejor rendimiento para revestimiento frente a la infiltración, costos y tiempo de vida útil para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Laredo?

1.5. Formulación de la hipótesis

➤ **General**

Ver cual de los dos materiales si la geomembrana o arcilla presenta mejor rendimiento en el revestimiento de la infiltración y costos, respecto tiempo de vida útil para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Laredo.

1.6. Objetivos de la Investigación

➤ **Objetivo general:**

- Elaborar la Comparación técnica- económica del revestimiento de laguna de estabilización para el tratamiento de aguas residuales mediante el empleo de geomembranas y arcilla del distrito de Laredo.

➤ **Objetivos específicos:**

- Estimar la población de diseño de la laguna de estabilización.
- Diseñar la laguna de estabilización empleando geomembranas y arcilla.
- Determinar los metrados, costos unitarios y presupuesto de lagunas estabilización con geomembranas.
- Determinar los metrados, costos unitarios y presupuesto de lagunas estabilización con arcilla.

- Comparación técnica- económica de las lagunas estabilización con geomembrana y arcilla.

1.7. Justificación del estudio

Este proyecto se justifica académicamente porque permite aplicar procedimientos y metodologías para realizar la comparación técnica y económica del revestimiento de la laguna de estabilización con geomembranas y arcilla.

Se justifica técnicamente porque se tomaran criterios de CEPIS para el diseño de la laguna de estabilización y para la construcción se utilizar materiales como geomembranas que van a tener mayor durabilidad y así se determinara la mejor opción técnica de la laguna de estabilización.

También se justifica socialmente porque la construcción de la laguna de estabilización beneficiara los pobladores de la localidad de Laredo y vecinos aledaños a la zona, ya que se disminuirá la contaminación del aire, tierra, agua, debido a que ya no habrá infiltración de las aguas, por lo que se podrán reutilizar para la agricultura en el riego de cultivo de tallo alto.

1.8. Limitaciones del estudio

La ubicación de la zona de estudio se encuentra un poco alejada de la ciudad, para realizar los estudios de suelo y topográficos.

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedente Internacional

- ROBLEDO DIAZ (2012), en su investigación titulada **“Propuesta de un sistema de lagunas de estabilización, para el tratamiento de las aguas residuales de la zona poniente de la ciudad de Tapachula, Chiapas”** se propuso como objetivos presentar una propuesta de tratamiento por el método de sistemas de lagunas de estabilización para las aguas residuales de la zona poniente de la Ciudad de Tapachula, Chiapas. Por ello el principal aporte al trabajo de investigación es de tener en cuenta el diseño hidráulico porque es muy importante para el funcionamiento de una planta de tratamiento, ya que si no hay un buen diseño puede ocasionar que la planta no opere correctamente y su calidad puede ser afectada. Existen casos de lagunas de estabilización que no cumplen con la calidad que fueron diseñadas por el mal diseño hidráulico.
- HERNANDEZ Y TOUMA (2012), en su investigación titulada **“Evaluación estructural de las lagunas de estabilización ubicadas en la ciudad de Valera estado Trujillo”** se propuso como objetivos evaluar estructuralmente las lagunas de estabilización, identificar los criterios de diseño y caracterizar los dispositivos asociados a las lagunas de estabilización como sistema de desbaste y desarenadores; llegando a los resultados de la identificación de los criterios de diseño estructural de las lagunas de estabilización. Por ello el principal aporte al trabajo de investigación son los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento de las lagunas y diques.

- MARTINEZ MORALES (2003), en su investigación titulada **“Análisis comparativo de criterios de diseño de lagunas de estabilización para ciudades pequeñas y medianas”** propuso como objetivos realizar la comparación de los diferentes tipos de diseño de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales municipales, mediante el uso de diferentes modelos matemáticos que proporcionen las mejores eficiencias de remoción de carga orgánica, para posteriormente seleccionar la mejor alternativa de tratamiento y dar recomendaciones para un mejor diseño, considerando criterios de diseño y operación para este tipo de lagunas, además realizan un análisis de costo. Como resultados tienen que los sistemas lagunares con poco proceso de tratamiento de aguas residuales principalmente municipales son una opción viable técnica y económicamente por los bajos requerimientos de operación, mantenimiento que permiten obtener agua de calidad apropiada para el riego o descarga a cuerpos receptores.

2.1.2. Antecedente Nacional

- SILVA BURGA (2004), en su investigación titulada **“Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la universidad de Piura”** se propuso como objetivos hacer un aporte significativo a este sistema de lagunas de estabilización, rediseñándolo de acuerdo a su funcionamiento actual y a la proyección actualizada del volumen de agua residual a tratar. De esta manera, asegurar una eficiente operación y adecuada calidad del efluente en cuanto al uso al que se le destina, como es el riego. Por ello el principal aporte al trabajo de investigación es de tener en cuenta el tipo de tratamiento que se debe utilizar, teniendo en consideración un conjunto en serie de lagunas anaerobias, lagunas facultativas y lagunas de maduración para cumplir con los límites máximos permisibles para la contaminación provocada por patógenos, parásitos y por DBO.

2.1.3. Antecedente Local

- FERNANDEZ CUEVA (2003), en su investigación titulada “**Laguna de oxidación del centro poblado Nuevo Barraza**” se propuso como objetivos remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación del centro poblado, utilizar su efluente para la reutilización en la agricultura, realizar el estudio del impacto ambiental, contribuir a la mitigación de la contaminación y realizar diseño de laguna primaria y secundaria; teniendo como resultado la disminución de la carga orgánica y microbiología descargada al ambiente, así como el diseño de lagunas primarias y secundarias. El principal aporte al trabajo de investigación es el diseño de las lagunas de estabilización junto con los adecuados niveles de operación y mantenimiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Según Henry y Heinke (1999, p. 422), las aguas residuales municipales, también llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua (por lo común más del 99%) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña y se expresa en mg/l, esto es, miligramos de contaminante por litro de la mezcla.

Esta es una relación de peso/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes de agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas.

2.2.1.1. Componentes

Los autores Henry y Heinke (1999, pp. 422-424), consideran los siguientes componentes de las aguas residuales:

- **Microorganismos:** Las negras aguas proporcionan un ambiente ideal para una inmensa colección de microbios, sobre todo bacterias, más algunos virus y protozoarios. Donde quiera que hay alimento adecuado, suficiente humedad y una temperatura idónea, los microorganismos prosperan.
- **Sólidos:** Los sólidos totales (orgánicos más inorgánicos) de las aguas residuales son los residuos que quedan una vez que la parte líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a peso constante a 103°C. Se hace la distinción entre sólidos disueltos y sólidos no disueltos evaporando muestras de aguas residuales filtradas y sin filtrar. La diferencia de peso entre las dos muestras secas indica el contenido de sólidos en suspensión.
- **Componentes inorgánicos:** Los componentes inorgánicos comunes de las aguas residuales incluyen los siguientes:
 - Cloruros y sulfatos: presentes normalmente en el agua y en residuos generados por humanos.
 - Nitrógeno y fósforo: en sus diversas formas (orgánicas e inorgánicas) en residuos de humanos, con fósforo adicional de los detergentes.
 - Carbonatos y bicarbonatos: normalmente presentes en el agua y en los residuos como sales de calcio y magnesio.
 - Sustancias tóxicas: arsénico, cianuro y metales pesados como Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, y Zn, pueden estar presentes en los residuos industriales.
- **Materia orgánica:** Las proteínas y carbohidratos constituyen un 90% de la materia orgánica de las aguas negras domésticas. Las fuentes de estos contaminantes biodegradables incluyen los excrementos y orina de humanos, los residuos de alimentos de los fregaderos, el polvo y la suciedad procedente del baño y del lavado de ropa, más varios jabones, detergentes y otros productos de

limpieza. El método de medición es por el COT(carbono orgánico total) se basa en la cantidad de carbono orgánico presente en los residuos.

2.2.1.2. Fuentes de aguas residuales

Rubens, R. (1999, p. 10), menciona cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales, como:

- Aguas residuales domesticas o urbanas: Son los líquidos provenientes de las viviendas, edificios comerciales e instituciones.
- Aguas residuales industriales: aguas residuales provenientes de la descargas de industrias de manufacturas.
- Escorrentía de usos agrícolas: aguas que arrastran fertilizantes (fosfatos) y pesticidas, las cuales están empezando a constituir una de las causas mayores de eutrofización de lagos y pantanos.
- Aguas pluviales: las aguas pluviales en las zonas urbanizadas también pueden tener efectos contaminantes

2.2.2. Métodos de Tratamiento de las aguas residuales

Para Noyola y colaboradores (2013, p. 7), el propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

El objetivo de depurar un agua residual se logra mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Dependiendo de ello, es posible generar emisiones gaseosas a la atmósfera e, invariablemente, la producción de material de desecho que puede ser un

residuo sólido, como la materia retenida en las rejillas o tamices, o semisólido en forma de lodos.

El Departamento de Sanidad de los Estados Unidos (1990, p. 42), en su publicación distingue los siguientes métodos de tratamiento de las aguas residuales:

2.2.2.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsiguientes del tratamiento. Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas.

Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- Rejas de barras o más finas.
- Desmenuzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras.
- Desarenadores.
- Tanques de pre aeración.

Además de los anteriores, a veces se hace la cloración en el tratamiento preliminar. Como la cloración puede usarse en cualquier etapa de un tratamiento, se considera como un método independiente.

2.2.2.2. Tratamiento primario

En este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas negras, o sea aproximadamente de 40 a 60 por ciento, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los sedimentables, o sea un total de 80 a 90 por ciento de los sólidos suspendidos. La

actividad biológica en las aguas negras durante este proceso, tiene escasa importancia.

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficiente la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos. Por consiguiente, a estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de tanques de sedimentación. Debido a la diversidad de diseños y operación, los tanques de sedimentación pueden dividirse en:

- Tanques sépticos.
- Tanques de doble acción, como son los de Imhoff.
- Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.
- Clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos.

En muchos casos el tratamiento primario es suficientemente adecuado para que se pueda permitir la descarga del efluente a las aguas receptoras, sin que se interfiera con el uso adecuado subsecuente de dichas aguas.

2.2.2.3. Tratamiento secundario

Este tratamiento debe hacerse si después del tratamiento primario, aun contienen sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que puedan ser asimilados por las aguas receptoras sin oponerse a su uso normal adecuado. El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aerobios, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables. Este tratamiento es comparable a la zona de recuperación de la autopurificación de una corriente.

Los dispositivos que se usan para el tratamiento secundario son:

- Filtros goteadores con tanques de sedimentación secundaria.
- Tanques de aeración:

- Lodos activados con tanques de sedimentación simple.
- Aeración por contacto.
- Filtros de arena intermitentes.
- Estanques de estabilización.

2.2.2.4. Cloración

Este método de tratamiento puede emplearse para diversos propósitos, en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras y aun antes del tratamiento preliminar.

El propósito de aplicar el cloro a las aguas negras es:

- Desinfección o destrucción de organismos patógenos.
- Prevención de la descomposición de las aguas negras para:
 - Controlar el olor.
 - Protección de las estructuras de la planta.
- Como auxiliar en la operación de la planta para:
 - La sedimentación
 - En los filtros goteadores
 - El abultamiento de los lodos activados
- Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

2.2.2.5. Tratamiento de lodos

Los lodos de las aguas negras están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa con ellos. Generalmente es necesario tratarlos para prepararlos o acondicionarlos para disponer de ellos sin originar condiciones inconvenientes. Este tratamiento tiene dos objetivos:

- Eliminar parcial o totalmente el agua que contienen los lodos, para disminuir su volumen en fuerte proporción.
- Descomponer todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables.

2.2.3. Principios del tratamiento de aguas residuales

El autor Romero J. (1999, p. 99), menciona que el tratamiento de las aguas residuales es una combinación de operaciones físicas y de procesos biológicos y químicos que remueven el material suspendido, coloidal o disuelto de dichas aguas.

2.2.3.1. Tratamiento anaerobio

Es aquella en que la descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y el CO₂, como aceptador de electrones.

2.2.3.2. Tratamiento aerobio

Es cuando se usa el oxígeno molecular disuelto como aceptador final de electrones, el proceso es aerobio y se conoce, también, como respiración aerobia.

La oxidación biológica aerobia es la conversión bacteriana de los elementos, de su forma orgánica a su forma inorgánica altamente oxidada, en un proceso conocido también como mineralización.

En general las bacterias requieren, principalmente, carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno; en menor proporción fósforo, azufre, potasio, calcio, hierro y magnesio, y como suplemente nutricional cantidades mínimas de zinc y molibdeno.

2.2.4. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son lagunas construidas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas).

2.2.4.1. Tipos de lagunas de estabilización

Ferrer y Seco (2008, p. 141), exponen que la clasificación de las lagunas de estabilización se basa en el dominio relativo de uno de

los dos procesos (anaerobio y aerobio) de eliminación de la materia orgánica. En base a esto las lagunas se denominan anaerobias, facultativas y aerobias.

2.2.4.1.1. Lagunas anaerobias

Trabajan con altas cargas orgánicas consiguiéndose la eliminación de la materia orgánica casi exclusivamente mediante procesos anaerobios.

Las lagunas anaerobias son alimentadas con agua residual bruta, aunque en algunas ocasiones el agua residual es sometida a un pretratamiento.

2.2.4.1.2. Lagunas Facultativas

Funcionan con cargas orgánicas más reducidas que las anteriores, permitiendo el desarrollo de algas en las capas superiores donde se dan condiciones aerobias debido al oxígeno aportado por las propias algas en su fotosíntesis. En las capas inferiores el oxígeno disuelto está ausente. Hay además una zona de transición entre las dos zonas anteriores, designada zona facultativa, cuyas fronteras varían con diversos factores (energía luminosa, viento, etc).

2.2.4.1.3. Lagunas Aerobias o de Maduración

Estas lagunas se destinan al tratamiento del efluente de las lagunas facultativas con el objetivo principal de eliminar los microorganismos patógenos. Son totalmente aerobias y dado que la mayor parte de la materia orgánica es eliminada en las lagunas previas funcionan con cargas orgánicas muy reducidas.

2.2.4.2. Mecanismos y Factores que intervienen en el proceso de tratamiento

Ferrer y Seco (2008, p. 143) determina que el funcionamiento de las lagunas depende fundamentalmente de los siguientes factores:

2.2.4.2.1. Temperatura:

La temperatura de diseño en invierno se toma como la temperatura media del mes más frío, es decir, la media mensual de las medias de las temperaturas máximas y mínimas diarias. Las cargas orgánicas recomendadas para el diseño de lagunas anaerobias y facultativas no varían con la temperatura por debajo de los 10°C.

La temperatura de diseño en verano debe tomarse como 3 grados inferior a la temperatura media del mes más fresco de ese periodo.

2.2.4.2.2. Mezcla:

Depende del viento y del calor solar. La mezcla por agitación del agua de una laguna permite que se verifiquen una serie de fenómenos vitales para el buen funcionamiento de las lagunas.

2.2.4.2.3. Características Climáticas:

Un clima casi constante es la situación ideal de funcionamiento de las lagunas, dado que los procesos de eliminación de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos, particularmente de las bacterias de origen fecal, depende de la temperatura.

2.2.4.2.4. pH:

Este parámetro es importante en el caso de las lagunas anaerobias donde debido al equilibrio que debe mantenerse entre bacterias reproductoras de ácidos y de metano, el pH debe ser superior a 6.

2.2.4.2.5. Tiempo de retención hidráulico:

Este factor es muy importante cual sea el tipo de laguna considerada, aunque solo se utiliza como parámetro de diseño en el caso de las lagunas de maduración.

Para las lagunas anaerobias el volumen de las lagunas, y por tanto el valor de tiempo de retención, se calcula a partir de la

carga orgánica volumétrica. Tiempos de retención inferior a los calculados acarrear inconvenientes, como mayores riesgos de producción de olores desagradables, peor calidad bacteriológica del efluente y menor eficiencia en la eliminación de materia orgánica.

En el caso de las lagunas de maduración, cuyos tiempos de retención más utilizados varían entre 5 y 7 días, de acuerdo con el número de lagunas de este tipo asociadas en serie y con los objetivos del tratamiento, el tiempo de retención es el factor más importante en la eficiencia en la eliminación de los microorganismos patógenos.

Los tiempos de retención de las lagunas facultativas son bastantes mayores que los de cualquier otro tipo de lagunas, aunque este parámetro no sea utilizado como criterio de proyecto. El funcionamiento de estas lagunas depende de la superficie de la laguna y no del volumen.

2.2.4.2.6. Profundidad de las lagunas:

En el caso de las lagunas facultativas, la altura útil varia, normalmente, entre 1 y 2m, con un intervalo optimo entre 1.50 y 2.0m. Las alturas inferiores a 1.0m no evitan el desarrollo de vegetación enraizada en el fondo, provocando la aparición de mosquitos. Las profundidades superiores a 2.0m dan lugar a que la zona de anoxia este situada muy próxima a la superficie lo que determina un funcionamiento predominantemente anaerobio en vez de aerobio.

Las lagunas de maduración consiguen mantener condiciones de aerobiosis hasta profundidades del orden de los 3.0m, normalmente, son proyectadas y construidas con profundidades iguales alas de las facultativas, lo que facilita la destrucción de los virus, lo cual es más eficiente cuanto menor es la profundidad de la laguna.

Las lagunas anaerobias se construyen con unas alturas útiles entre 2.0 y 4.0m siendo el valor más utilizado normalmente el de los 3.0m.

2.2.4.3. Tipos de asociaciones de lagunas de estabilización

Es un hecho comprobado que el efluente de una serie de lagunas es de mejorar calidad que el de una única laguna con un volumen igual a la suma de la serie de lagunas. La máxima eficiencia en una serie de lagunas se consigue cuando las lagunas funcionan con el mismo tiempo de retención.

Considerando los tres tipos de lagunas mencionadas las asociaciones de lagunas en serie más corrientes dentro del campo de tratamiento de aguas residuales urbanas, son las siguientes:

- Laguna anaerobia – Laguna facultativa – Laguna/s de maduración.
- Laguna anaerobia – Laguna facultativa.
- Laguna facultativa – Laguna/s de maduración.

En altitudes medias es la última alternativa la más utilizada.

Si el efluente de las lagunas de estabilización se destina al riego sin restricciones (número de coliformes fecales inferior a 1000/100 ml) la asociación de lagunas debe incluir, como mínimo, una de las series siguientes:

- Laguna anaerobia – Laguna facultativa – 2lagunas de maduración con un tiempo de retención de 7 días cada una.
- Laguna anaerobia – Laguna facultativa – 3, o más, lagunas de maduración con un tiempo de retención de 5 días.

Con vistas a facilitar las operaciones de mantenimiento de una instalación de lagunas de estabilización es conveniente considerar dos o más líneas paralelas de lagunas. El caudal a través de cada línea nunca debe exceder los 5000 m³/día, criterio éste confirmado por la práctica.

2.2.4.4. Criterios de dimensionamiento de las lagunas de estabilización

Existe una gran variedad de métodos de dimensionamiento, que están más en forma de reglas empíricas que de criterios racionales. A continuación se muestran los criterios más utilizados para la Europa mediterránea:

2.2.4.4.1. Lagunas anaerobias:

Existe una cierta reticencia a utilizar lagunas anaerobias por temor a problemas de olores. Sin embargo, si se construyen a una distancia del núcleo poblacional superior a los 200m y se diseñan adecuadamente, no se producen estos problemas. Estas lagunas son dimensionadas en función de la carga orgánica volumétrica, L_v (g DQO biodegradable/m³.día), relación entre la DQO biodegradable del afluente y el tiempo de retención. Los valores de este parámetro dependen de la temperatura de diseño (T °C):

$$\begin{array}{ll} L_v=150 & \text{para } T < 10 \text{ °C} \\ L_v= 30T - 150 & \text{para } 10 < T < 20 \text{ °C} \\ L_v=450 & \text{para } T > 20 \text{ °C} \end{array}$$

2.2.4.4.2. Lagunas facultativas:

Lo importante en este caso es proveer de un área superficial conveniente para que la producción fotosintética de oxígeno sea suficiente y para que el efecto mezcla inducido por el viento actúe a unas profundidades razonables. Por ello los criterios de dimensionamiento más comunes se asientan en la carga orgánica superficial, L_s , relación entre la carga de DBO₅, afluente y el área de la laguna. Se han propuesto diversas expresiones para el cálculo del valor de proyecto de la carga orgánica superficial, L_s (kg DQO biodegradable/ha.d):

$$\begin{array}{ll} L_s=150 & \text{para } T < 10 \text{ °C} \\ L_s=15 T & \text{para } 10 < T < 20 \text{ °C} \\ L_s=75(1.072)^T & \text{para } T > 20 \text{ °C} \end{array}$$

$$L_s = 515(1.107 - 0.0002T)^{(T-25)} \quad \text{para } T < 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La ecuación primera, segunda y tercera son las recomendadas para su uso en la Europa mediterránea, mientras que la primera y la última son tentativas globales de ecuaciones de diseño. En todas ellas T es la temperatura de diseño en °C.

Una vez seleccionado la carga orgánica superficial y escogida la profundidad (intervalo normal 1.5-2.0m) la superficie de la laguna se determina mediante:

$$A = 10S_i \cdot Q / L_s$$

Donde:

S_i = DQO biodegradable del agua residual en g/m³.

Q = caudal en m³/día.

L_s = carga orgánica superficial en kgDQO biodegradable/ha/d.

2.2.4.4.3. Lagunas de maduración:

El número de lagunas de maduración y el tiempo de retención hidráulica a considerar en cada caso depende de la calidad bacteriológica del efluente que se pretenda conseguir, que a su vez es función de su uso posterior, vertido al mar o a un cauce natural o reutilización para riego. Dado que la eliminación de bacterias patógenas de origen fecal, verificada en cualquiera de los tres tipos de lagunas consideradas, obedece a una cinética de primer orden, el número de coliformes fecales por 100ml de efluente de una serie de n lagunas N_e , viene dado por la fórmula:

$$N_e = \frac{N_a}{(1 + k_b t_1)(1 + k_b t_2) \dots (1 + k_b t_n)}$$

Donde:

N_a = número de coliformes fecales por 100mL en el afluente del sistema de lagunas.

t_i = tiempo de retención expresado en días de la laguna i.

k_b = es la constante de eliminación de coliformes fecales, expresada en días⁻¹, función de la temperatura:

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

El valor de Ne para riego restringido es de 100000 y 1000 para riego no restringido. En el vertido al mar hay que considerar el efecto de la dilución y las directivas sobre la calidad del agua para baño y cría de moluscos. En el vertido a ríos es necesario establecer el valor que permita no superar en el agua del río los 1000CF/100mL, cuando esta agua es utilizada para riego no restringido.

2.2.5. Construcción de lagunas de estabilización

Romero, J. (2000, p. 174) menciona que la construcción de lagunas de estabilización es apropiada para resolver el problema de tratamiento y disposiciones de aguas residuales tanto para industrias como para poblaciones pequeñas y ciudades grandes. Sin embargo, hay localidades donde el costo y la falta de disponibilidad de terreno hacen que la selección del proceso de tratamiento sea diferente.

Dada su sencillez como sistema de tratamiento, las lagunas deben ser económicas en su construcción y, por lo tanto, de configuración elemental, con estructuras de entrada y salida fáciles de mantener y únicamente con los accesorios de aforo y pre tratamiento estrictamente indispensables.

Tabla 1: Lagunas de estabilización en América Latina y el Caribe.

País	1971	1976
Brasil	30	48
Cuba	24	350
Argentina	23	23
Perú	21	19
México	14	25
Ecuador	11	3
Costa Rica	10	5
Chile	9	3
Colombia	7	3
Venezuela	7	7

El Salvador	5	3
Guatemala	4	-
Trinidad y Tobago	4	1
Nicaragua	3	-
Panamá	3	5
Barbados	2	-
Bolivia	1	1
Honduras	1	1
República Dominicana	1	1
Uruguay	1	1
TOTAL	181	499

Fuente: ROMERO, J. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización*.

2.2.5.1. Construcción de Diques

Un buen dique debe prevenir los efectos destructivos de la erosión causada por oleaje en lagunas grandes y por aguas de lluvias así como por madrigueras de ratas y roedores. En los taludes se debe proveer protección contra la erosión, especialmente en la zona comprendida entre 0.3m por debajo del nivel mínimo del agua y 0.3m por encima del nivel máximo del agua. La protección contra la erosión se puede suministrar mediante recubrimientos con piedra de río de 15-20cm de tamaño y canto rodado de 7 a 14kg. También se usa asfalto, concreto, telas plásticas y pastos cortos. La corona del dique debe ser de un ancho suficiente 3m, para permitir el paso vehicular, con pendiente que permita el drenaje de agua lluvia. Para control de ratas se recomienda, generalmente, dotar a la laguna de medios que permitan variar el nivel del agua y así se inhibe la cría de roedores. En lagunas pequeñas, menores de 2ha, se usan bordes libres mayores de 0.50m; en lagunas grandes, mayores de 1.0m.

Los diques deben ser diseñados y construidos para minimizar percolación de agua, la vegetación y el suelo poroso deben removerse y los terraplenes deben compactarse apropiadamente.

La pendiente de los taludes depende del material del dique y de la protección prevista contra erosión.

En general se usan pendientes de 3H/1V en taludes internos y mayores de 1.5H/1V en taludes externos. Las tuberías que atraviesan los diques deben estar dotadas de collares contra la infiltración o nipples pasamuros que sobresalgan por lo menos 0.6m sobre la tubería.

2.2.5.2. Impermeabilización

La impermeabilización se hace mediante recubrimientos de telas plásticas, geomembranas, capas de arcilla o tierra compacta. Las lagunas pueden impermeabilizarse, en forma natural, mediante tres mecanismos:

1. Taponamiento físico de los poros del suelo con sólidos sedimentados.
2. Taponamiento químico de los poros del suelo por intercambio iónico.
3. Taponamiento biológico y orgánico por crecimiento biológico sobre el recubrimiento de la laguna.

Los métodos para aplicar la bentonita como revestimiento de lagunas son los siguientes:

1. Se coloca sobre el área a revestir una suspensión de bentonita en agua al 0.5%, de tal manera que la bentonita se sedimente, sobre el suelo, formando una capa delgada.
2. Se mezcla bentonita con el suelo superficial en una proporción de 4.5 kg/m² de suelo.
3. Se prepara un lecho de grava de 15 cm de espesor y sobre él se aplica bentonita en agua al 0.5%. la bentonita se sedimenta a través de la capa de grava y sella los espacios vacíos.
4. Se riegan 2.5 a 5 cm de bentonita y se cubren con un lecho de 20 a 30 cm de tierra y grava para proteger la membrana formada de bentonita.
5. Se mezcla bentonita con arena en una relación de 1/8 en volumen. La mezcla se coloca, de un espesor de 5 a 10 cm,

sobre el fondo de la laguna y se cubre con una capa de protección de arena o suelo. Este método consume 13.5 kg de bentonita/m².

En general se recomienda bentonita más fina que tamiz No. 30 con humedad menor del 20%.

También se usa como impermeabilizante suelo-cemento de la manera siguiente:

1. Se compacta el suelo-cemento estándar al contenido óptimo de humedad del suelo, en pendientes hasta de 4/1. El suelo cemento puede estar sobre la superficie o enterrado.
2. Se prepara un suelo – cemento plástico, semejante al hormigón, agregando gran cantidad de agua y 3 a 6 sacos de cemento por metro cubico, para un espesor de 7.5cm.
3. Se afloja el suelo, a mano, con rastrillo, hasta una profundidad de 5cm y se deja secar, si es necesario, a su humedad óptima. Se agregan y distribuyen uniformemente 8kg de cemento Portland por metro cuadrado y luego, se compacta con un cilindro o rodillo pequeño. Este método es económico cuando la mano de obra es barata.

En general cuando se requiere cero permeabilidad se utilizan geomembranas. Estos materiales, si se seleccionan adecuadamente, son resistentes a la acción de sustancias químicas y fáciles de instalar; si se utilizan, por ello, principalmente en lagunas de estabilización para aguas residuales industriales.

El costo de impermeabilización es muy variable pues depende de la disponibilidad local de los materiales. En general el costo es menor para los revestimientos con bentonita.

2.2.5.3. Detalles de construcción

Las unidades de entrada y salida tienen por objetivo distribuir lo más uniformemente posible el agua en la laguna y prevenir la presencia de cortocircuito.

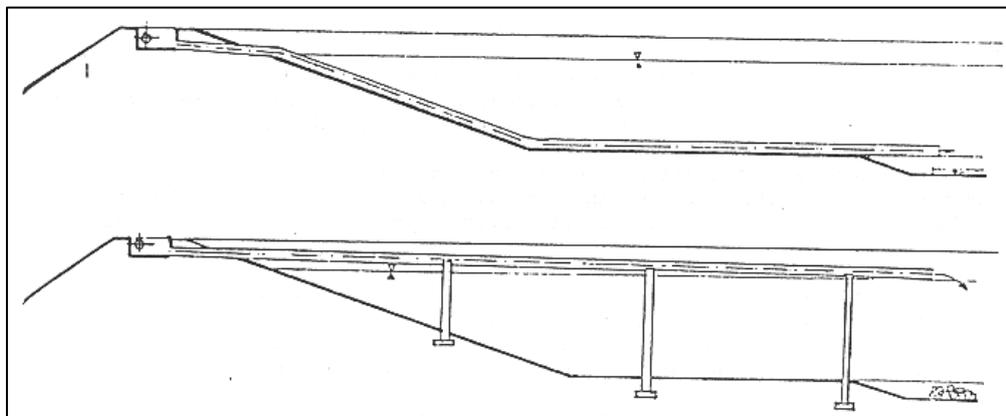
Estructuras de ingresos

La tubería de entrada a una laguna puede estar sumergida o sobre el nivel del agua. Figura 2.

Las tuberías sumergidas son de bajo costo y sencillos métodos de construcción; pero el efecto es el asentamiento de lodo en caudales bajos con la consecuente obstrucción de la tubería y la aparición de material asentado alrededor de la desembocadura.

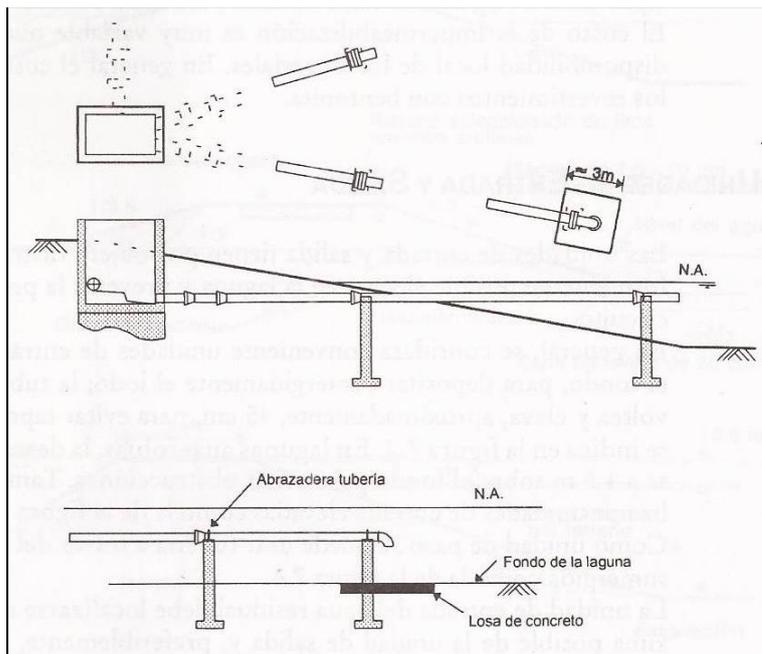
Las tuberías elevadas no tienen obstrucciones con caudales bajos porque se aseguran velocidades mínimas mediante secciones de flujo parcial, mientras que los canales sumergidos están siempre llenos. Los argumentos en contra son: costos más altos debido a los soportes para las tuberías (por ejemplo pilares de albañilería) y exposición al vandalismo. Por ejemplo: en laguna anaerobia, la descarga puede dejarse a 1.5m sobre el fondo para evitar obstrucciones. Figura 3.

Figura 2: Entrada sumergida y elevada.



Fuente: CEPIS (2002). *Lagunas de Estabilización*.

Figura 3: Unidad de entrada elevada de lagunas de estabilización.

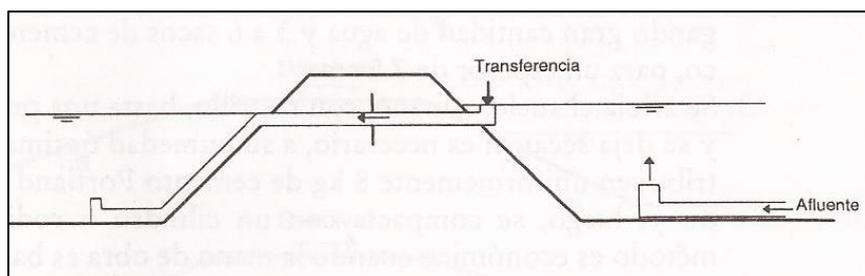


Fuente: ROMERO, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización.

Con frecuencia las tuberías de entrada descargan sobre una losa de concreto de aproximadamente 1m de diámetro cuando van sumergidas y en el caso ingresos sobre el nivel del agua descarga sobre un revestimiento de piedra de aproximadamente 1 x 2 m justo debajo de la boca de la tubería para evitar la socavación del fondo de la laguna durante la fase de llenado.

En general, se considera conveniente unidades de entradas centrales, por el fondo, para depositar sumergidamente el lodo, la tubería de acceso se voltea y eleva, aproximadamente, 45cm, para evitar taponamiento. Figura 4

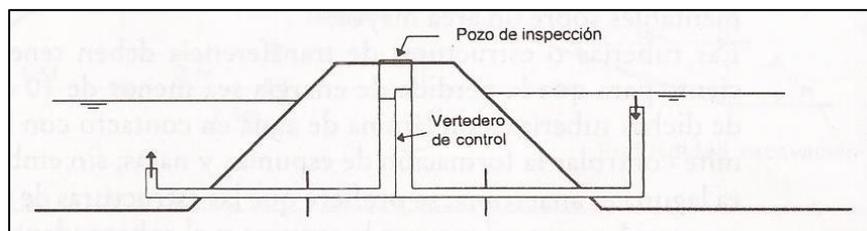
Figura 4: Unidad de entrada y transferencia.



Fuente: ROMERO, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización.

Como unidad de paso se puede utilizar tubería a través del dique y descarga sumergida.

Figura 5: Estructura de transferencia sumergida.



Fuente: ROMERO, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización.

La unidad de entrada del agua residual debe localizarse a la distancia máxima posible de la unidad de salida y, preferiblemente, en lagunas grandes, de más de 8 hectáreas, debe ser de distribución múltiple para que el agua tenga un perfil de velocidad uniforme, entre la entrada y la salida, evitando así corrientes y corto-circuito y distribuyendo los sólidos sedimentables sobre un área mayor.

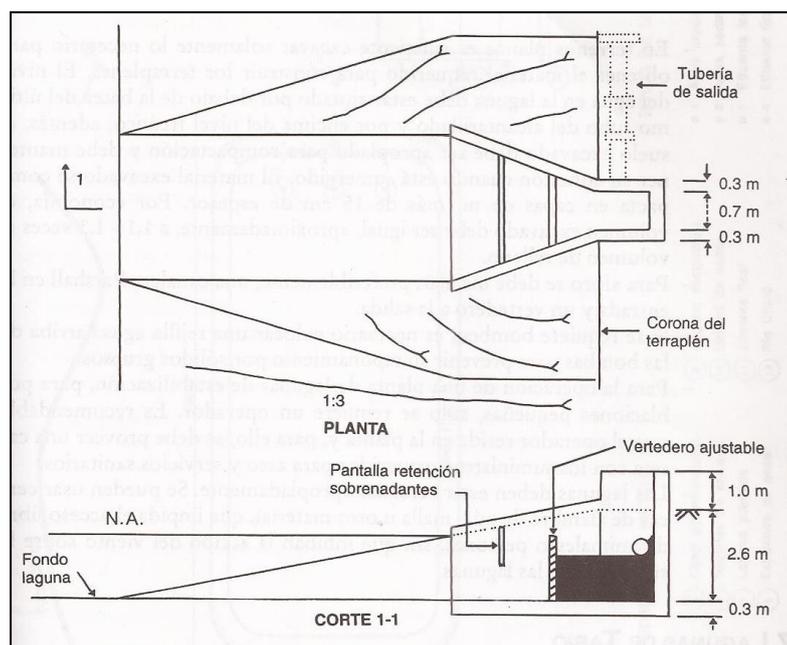
Las tuberías o estructuras de transferencias deben tener capacidad suficiente para que la pérdida de energía sea menor de 10cm. La operación de dichas tuberías, con lámina de agua en contacto con la atmosfera, permite controlar la formación de espumas y natas, sin embargo, si la primera laguna es anaerobia, se prefiere que las estructuras de transferencia sean sumergidas para así retener la espuma y el sobrenadante.

Estructuras de salida

La estructura de salida de una laguna determina el nivel del agua dentro de ella y podrá colocarse en cualquier punto del borde, ordinariamente al pie del dique y opuesto a la tubería de entrada. La estructura de salida debe ser preferiblemente sumergida para impedir flujo de sobrenadantes y de biomasa algal. En las lagunas grandes se recomiendan unidades múltiples de salida.

El dispositivo de salida más sencillo consta de una tubería vertical cuyo extremo superior alcanza el punto del nivel de agua deseado. El extremo inferior se conecta a la tubería de descarga. Las estructuras de salida más convenientes son con dispositivos para variar el nivel del agua con fines operativos. Por ejemplo, disminuyendo el nivel en 0.50 m se facilitará la eliminación de maleza y reparación de los taludes erosionados por el choque de las olas. Ver figura 6.

Figura 6: Unidad de salida lagunas de estabilización.



Fuente: ROMERO, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización.

Actualmente se recomienda la instalación de una pantalla alrededor del dispositivo de salida para impedir que penetre materia flotante y espuma en el efluente y la consiguiente salida de huevos y quistes de parásitos.

Pantallas:

Las pantallas o estructuras de partición, para subdividir las lagunas, se usan para eliminar corto-circuito, crear trayectorias de flujo eficiente, incrementar el tiempo de retención y optimizar lagunas existentes. Las pantallas pueden ser sumergidas, para

evitar objeciones de tipo estético, separadas de tal manera que el área de flujo sea constante. Se construyen con plástico pesado o membranas flexibles adheridas a postes hincados en el fondo de la laguna, también se usan pantallas prefabricadas de plástico soportados por flotadores.

Además de promover flujo pistón, las pantallas inducen flujo en espiral en las curvas, creando mezcla y rompiendo la tendencia a la estratificación.

Medidores de caudal

Deberán instalarse dos medidores de caudal en cada laguna: uno en la entrada y otro en la salida.

Es mejor instalar el medidor de caudal de entrada al ingreso del sistema de tratamiento. En este caso los medidores adecuados son el canal de Parshall o el medidor Palmer Bowls.

El medidor de caudal de salida puede ser la misma estructura de salida, si tiene la forma de un vertedero rectangular. De otro modo, se puede instalar en la tubería de descarga, por el lado exterior del dique.

Tuberías de interconexión

Las tuberías de interconexión se utilizan para transferir el efluente de una laguna a otra en casos donde se operan dos o más unidades en serie, tal como de una laguna anaeróbica conectada a una facultativa o una facultativa conectada a una de maduración.

Si la tubería interconectada está un tanto por debajo del nivel del agua en ambos extremos, digamos a 0.30 m o más, no es necesaria ninguna protección especial para evitar que el material flotante penetre en la segunda laguna.

Con frecuencia la tubería de entrada a la segunda laguna se prolonga hacia abajo a lo largo de la pendiente hasta que alcanza el pie del terraplén.

Las tuberías de interconexión de una laguna anaeróbica y una facultativa deberán estar protegida en todo momento contra la penetración de materia flotante.

2.2.5.4. Otras consideraciones

- En terrenos planos es suficiente excavar solamente lo necesario para obtener el material requerido para construir los terraplenes. El nivel del agua en la laguna debe estar situado por debajo de la batea del último tubo del alcantarillado y por encima del nivel freático; además, el suelo excavado debe ser apropiado para compactación y debe mantener su cohesión cuando está sumergido. El material excavado se compacta en capas de no más de 15cm de espesor. Por economía, el volumen excavado debe ser igual, aproximadamente, a 1.1 – 1.3 veces el volumen de relleno.
- Para aforo se debe instalar, preferiblemente, una canaleta Parshall en la entrada y un vertedero a la salida.
- Si se requiere bombeo, es necesario colocar una rejilla aguas arriba de las bombas para prevenir su taponamiento por sólidos gruesos.
- Para la operación de una planta de lagunas de estabilización, para poblaciones pequeñas, solo se requiere un operador. Es recomendable que el operador resida en la planta y, para ello, se debe proveer una caseta con los suministros requeridos para aseo y servicios sanitarios.
- Las lagunas deben estar cercadas apropiadamente. Se pueden usar cercas de alambre y púa, malla u otro material, que impida el acceso libre de animales o personas, sin que inhiba la acción del viento sobre la superficie de las lagunas.

2.2.6. Diseño de las lagunas de estabilización

Para el dimensionamiento de lagunas facultativas se tomarán en consideración los criterios de la Norma OS.090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Edificaciones.

a. Caudal de diseño (Q_p , en m^3 /día)

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{100} \times \% \text{Contribución}$$

Dotación, en litro/hab/día.

b. Carga orgánica (C , en KgDBO/día)

$$C = \frac{\text{Población} \times \text{Contribución per cápita (gr. DBO/habxdía)}}{1000}$$

$$C = Q_p \times DBO_5 \times 0.0864$$

Donde: Q_p , en litros/segundo

c. Condición temperatura vs temperatura del agua

$$T^{\circ} \text{agua} = T^{\circ} \text{amb} \pm 1^{\circ} C$$

Si $T^{\circ} < 25^{\circ} C$

$$T^{\circ} \text{agua} = T^{\circ} \text{am} + 1^{\circ} C$$

Si $T^{\circ} > 25^{\circ} C$

$$T^{\circ} \text{agua} = T^{\circ} \text{am} - 1^{\circ} C$$

d. Carga superficial, KgDBO/Haxdía

La carga de diseño para las lagunas facultativas se determinará según el criterio del proyectista:

- Norma de saneamiento OS.090

$$CS_{\text{diseño}} = 250 \times 1.05^{(T-20)}$$

Donde:

C_s = es la carga superficial de diseño en Kg DBO/(haxdía).

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

- CEPIS - Yanez.

$$CS_{diseño} = 357.4 \times 1.085^{(T-20)}$$

e. Área de la laguna (Ha)

$$\text{Área} = \frac{\text{Carga}}{CS_{diseño}}$$

f. Área de cada laguna

$$Ac/laguna = \frac{\text{Área}}{n}$$

Donde: n = número de lagunas

g. Relación largo/ancho de la Laguna

$$\frac{L}{W} = 2 \text{ a } 3$$

h. Profundidad de la laguna (Z, en m)

De 1,5 – 2,5 metros

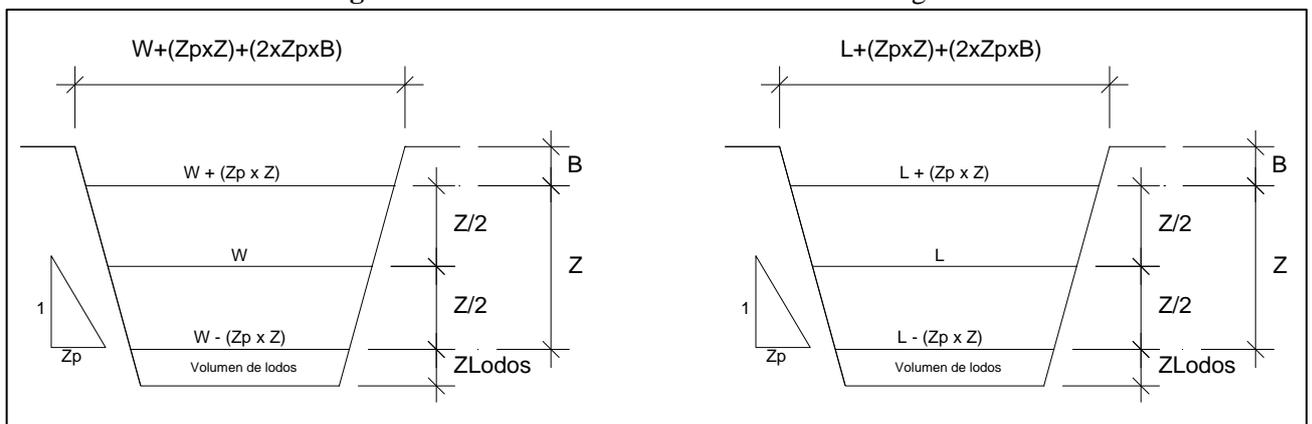
i. Talud (Zp)

De 1,5 a 3.

j. Borde libre (BL, en ,m)

Como mínimo 0,5 m.

Figura 7: Características de dimensiones de la laguna



Fuente: CEPIS

k. Volumen de lodos (Vlodos, en m³)

$$V_{lodos} = \frac{Pob \times Ta \times N}{1000}$$

Donde:

Pob = Población.

Ta = Tasa de acumularon de lodos, de 100 a 120 litros/habx año.

N = Periodo de limpieza, de 5 a 10 años.

l. Altura de lodo (Zlodos, en m)

Con el volumen de lodos se calcula la profundidad de lodos.

$$Z_{lodos} = \frac{V_{lodos}}{A_f}$$

Donde:

A_f = área del fondo de la laguna, en m.

m. Periodo de retención, días

$$PR_{real} = PR_{teórico} \times Fch$$

$$PR_{teórico} = \frac{Volumen}{Q_e}$$

Donde:

Fch = factor de corrección hidráulica

Q_e = Caudal promedio menos el caudal de evaporación e infiltración que se pierde durante el proceso.

El periodo de retención debe ser mayor a 10 días para garantizar una remoción del 99.99% de parásitos.

n. Cálculo de factor de dispersión (d)

Las lagunas de estabilización trabajan a mezcla completa y no a flujo a pistón, si éste fuera el caso el valor de “d” sería cero; ellas trabajan bajo flujo disperso y a través de la ecuación de Saenz podemos calcularlo.

$$d = \frac{1.158x\{Rx(W + 2Z)^{0.489}\}xW^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734}x(LxZ)^{1.489}}$$

Donde:

W,L,Z = dimensiones de la laguna.

R = periodo de retención de la laguna.

T = temperatura del agua, en °C.

El valor de “d” debe ser menor de 2.

o. Calculo de la constante “a”

Para el cálculo de esta constante se utiliza la fórmula de Wehner & Wilhelm y simplificada por Thirimurthi.

$$a = \sqrt{(1 + 4xK_b x R x d)}$$

Donde:

K_b = constante de la razón de remoción.

- Norma de Saneamiento S090 - Reglamento Nacional de Edificaciones

$$K_b = K_{20}x1.05^{(T-20)}$$

Coefficiente de mortalidad bacterino (neto) será adoptado entre el intervalo de 0,6 a 1,0 l/d para 20°C.

Donde:

K_b es el coeficiente de mortalidad neto a la temperatura del agua T promedio del mes más frío, en °C.

K₂₀ es el coeficiente de mortalidad neta a 20°C.

- CEPIS – Saenz y Yanez.

$$K_b = 0.841x1.07^{(T-20)}$$

p. Coliformes en el efluente, N

Una vez calculado las constantes anteriores, se reemplazan en la ecuación de Wehner & Wilhelm y simplificada por Thirimurthi¹². Todo esto parte de la Ley de Chick.

$$N = \frac{N_0 x 4 x a x e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2}$$

Donde:

N = número de coliformes fecales en el efluente. (N/100ml)

No = concentración de coliformes fecales con que ingresa a la laguna el agua residual. (N/100ml).

q. Remoción de la DBO

Se sigue la misma metodología que se empleó para los colimes fecales, el valor de la constante de razón de remoción Kb para 20°C se encuentra de 0,2 – 0,3 día⁻¹.

$$K_b = K_{20} x 1.05^{(T-20)}$$

Además se deben conocer los factores de ajustes para una laguna de estabilización que son:

- Factor de corrección hidráulica (Fch): Debido al efecto de la posición relativa de las estructuras de entrada y salida, y al diseño de las mismas, tiene en la práctica un valor entre 0,3 y 0,8.
- Factor de características de sedimentación (Fcs): El valor de este factor varía entre 0,5 y 0,8 en lagunas primarias; y está muy cerca de 1,00 en las lagunas secundarias y de acabado.
- Factor intrínseco de las algas (Fia): Las algas que mueren en las lagunas ejercen una DBO que debe ser tomada en cuenta agregando el valor Fia al lado derecho de la ecuación que se utilizará para calcular la DBO en efluente. El valor de Fia varía entre 0 y 1,2 correspondiendo los valores bajos a lagunas primarias y los altos a lagunas de maduración.
- Se tendrá que conocer la DBO con que ingresa el agua residual a la laguna, si no se conoce se calcula una DBO teórica con:

$$DBO_{teórica} = \frac{Contr. percapita}{(Dotación x \% Contr. al. desague)} x 1000$$

$$DBO_{soluble} = Lo = DBO_{teórico} x Fcs$$

Una vez obtenido, se reemplazara en la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Lox4xaxe^{((1-a/2d))}}{(1+a)^2} xLoxFia$$

Donde:

Lo = DBO a la entrada.

Yanez (1984), en su trabajo presentado en el XIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), se han reportado correlaciones empíricas que permite calcular la remoción de DBO en forma aproximada, de la forma:

$$CSr = A + B \cdot CSa$$

Donde:

CSr = carga de DBO removida Kg/ (ha.día)

CSa = carga de DBO aplicada Kg/ (ha.día)

A y B son constantes empíricas.

Mc Garry y Pescod reportaron valores de A = 10.35 y B = 0.725, deducidos de datos de 143 instalaciones diferentes.

$$CSr = 10.35 + 0.725xCSa$$

La siguiente correlación empírica, describe la máxima carga aplicada en función de la temperatura.

$$CSa = 60.29x(1.0993)^{(Ta)}$$

2.2.7. Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización

Ferrer y Seco (2008, p. 149), indica las siguientes ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización:

2.2.7.1. Ventajas

- Eficiencias de eliminación de organismos patógenos bastante superiores a las de procesos convencionales.
- Gran capacidad de adaptación a las variaciones bruscas de caudal y de las cargas aplicadas.
- Independencia total de los recursos energéticos convencionales.

- Técnicas de construcción simples, estando prácticamente limitadas a movimientos de tierra.
- Coste de inversión más bajo que el de los procesos convencionales.
- Técnicas de mantenimiento simples, que no exigen operarios con cualificación técnica alta.
- Capacidad de tratar ciertos tipos de aguas residuales industriales.
- Posibilidad de utilizar las últimas lagunas de la serie, particularmente las de maduración para la acuicultura.
- Posibilidad de reutilización de las aguas residuales para riego.

2.2.7.2. Desventajas

- Eficiencias de eliminación de materia orgánica inferiores a las de los procesos convencionales.
- Limitadas posibilidades de actuación sobre el proceso.
- Necesidad de áreas de implantación muy elevadas.
- Costes de explotación similares a los de los procesos convencionales.
- Elevadas concentraciones de sólidos suspendidos en los efluentes del sistema de lagunas, debidas a cantidades apreciables de algas, que pueden ser perjudiciales para la calidad del medio receptor.
- Necesidad de un vaciado periódico de las lagunas y una evacuación de los fangos depositados en el fondo.
- Pueden darse olores desagradables y proliferaciones de mosquitos.

2.2.8. Operación y mantenimiento de la planta de tratamiento

2.2.8.1.Requerimientos previos

2.2.8.1.1. Personal de la planta

El personal de la planta debe estar constituido básicamente para labores de operación y mantenimiento de la planta.

Personal de operación y mantenimiento

- Un ingeniero (jornada parcial): Tendrá a su cargo la planta de tratamiento, así como la coordinación con los operarios de las tareas de operación y mantenimiento del recinto.
- Un operador: Será el encargado de realizar las tareas de control de la planta de tratamiento. Deberá tener conocimientos de mantenimiento y operación. Las responsabilidades del operador son:
 - Informar periódicamente al ingeniero sobre el funcionamiento y estado de las unidades en general.
 - Realizar los controles necesarios para la normal operación de la planta, entre ellos: medición de caudales, controles fisicoquímicos, toma de muestras de agua y desarrollo de los programas de mantenimiento físico de todas las unidades.
 - Mantener los taludes libres de vegetación
 - limpieza de canaletas de distribución, vertederos, cámara de rejas, desarenadores, remoción de grasas y materia orgánica flotante en las lagunas, así como mantenimiento de todas las unidades, áreas verdes y de acceso.

El número de operadores necesarios depende del tamaño de la instalación y del número de unidades que componen el sistema.

2.2.8.1.2. Documentación requerida

La documentación que debe estar siempre disponible en la planta es la siguiente:

- Memoria técnica del proyecto

- Un juego completo de planos de construcción
- Especificaciones técnicas de construcción
- Manual de operación y mantenimiento
- Formulación de registro de datos operacionales y análisis calidad
- Libro de observaciones

2.2.8.1.3. Requerimientos de infraestructura

Sistema de agua potable: Para el lavado de las unidades de tratamiento, tales como la cámara de rejillas, desarenador, vertederos.

Disposición Final de los Residuo Sólidos: Tanto el material retenido en las rejillas y desarenadores como el material depositado en los canales de distribución y en la superficie de las lagunas, deben disponerse en algún pozo habilitado dentro del recinto de la planta. Para tal efecto, se requiere la construcción de un pozo sin revestimiento, de sección igual a 2 por 3 m y una profundidad. Es aconsejable que su ubicación esté próxima a la cámara de rejillas.

2.2.8.1.4. Equipo de trabajo y seguridad

Equipos de trabajo

- Carretillas de mano, pala.
- Cuchara de maya metálica con asa liviana (PVC de 1 ½" hueco) de 2 m de largo
- Caja de herramientas con martillo, alicate, clavos, etc
- Manguera para lavado de unidades de pretratamiento (200m).
- Escalera, rastrillo, escoba.
- Compuertas de emergencia.
- Termómetro para medición de temperatura en el agua.

Equipos de seguridad

- Botas de goma, calzado de seguridad.
- Indumentaria de trabajo (guardapolvo).
- Guantes de protección de goma.

2.2.8.2. Proceso de llenado de las lagunas de estabilización

Es recomendable que la fase de puesta en marcha ocurra de preferencia en verano, cuando exista predominancia de temperaturas más elevadas.

En el llenado de lagunas se deben evitar dos procedimientos generales:

- La carga de DBO a ser aplicada debe ser menor o igual a la carga máxima de diseño, a fin de que se establezca una comunidad balanceada de algas y bacterias para no producir condiciones anaerobias con predominio de fermentación ácida y emanación de olores insoportables de compuestos putrescibles a base de azufre y nitrógeno.
- Cargar las lagunas con pequeñas contribuciones de aguas residuales. Esto porque hasta que ocurra una colmatación del terreno, todo el líquido o parte de él puede percollar por los taludes y el fondo, acumulándose ahí material sólido putrescible y/o estableciéndose la anaerobiosis y putrefacción con emanación de malos olores.

2.2.8.2.1. Lagunas primarias

El llenado de estas lagunas deberá ser lento a fin de evitar algún perjuicio a la estabilidad de las unidades, especialmente de los taludes y no provocar erosiones en la capa de fondo. Se debe producir gradualmente la saturación de los taludes perimetrales. La tasa de llenado será continua (las 24 horas del día); se prevé no más de 10 centímetros de aumento de nivel por día hasta alcanzar los primeros 50 cm. Es posible que en los primeros días el caudal ingresado sea evaporado e infiltrado completamente. Sin embargo, luego de algunos días

la tasa de infiltración deberá ir disminuyendo hasta estabilizarse en el tiempo.

Si eventualmente se producen problemas ambientales de malos olores (producto del desbalance entre la carga orgánica y la población de algas y bacterias), se debe detener el llenado hasta que se alcancen condiciones estables (coloración verde en el agua) y proseguir posteriormente con el llenado. Como medida adicional, para mitigar los malos olores (descomposición anaerobia de compuestos a base de azufre y nitrógeno) se puede aplicar salitre (nitrato de sodio) en dosis de 5 mg/l.

Una vez alcanzado el nivel de operación, volver a suspender la alimentación de las lagunas por espacio de una semana a fin de garantizar la desinfección de la población de algas. Finalmente, se debe restituir el caudal de entrada para una operación continua.

2.2.8.2.2. Lagunas secundarias o de maduración

El proceso de llenado de estas unidades será menos restrictivo que en el caso de las lagunas primarias, ya que no habrá limitaciones respecto a la carga orgánica aplicada. Para tal fin, una vez que el nivel en las lagunas primarias haya alcanzado el nivel medio de operación, se procederá al llenado de las lagunas secundarias en forma directa y continua. El control de caudales en estas lagunas se hará a través de las cámaras de interconexión entre lagunas, consistente en mover la altura del nivel de los vertederos de salida de las lagunas primarias.

2.2.8.3. Control de infiltración

El control de infiltración consistirá en evaluar hidráulicamente el balance hídrico en las lagunas, así como en determinar el descenso efectivo que se produce del nivel de agua. Esto se puede controlar mediante la medición del nivel de agua diario efectivo. En algunos casos la infiltración puede ocurrir:

- Cuando la infiltración sea a través del fondo, se deberá parar la alimentación de la laguna, posteriormente desaguarla y posteriormente reponer la capa de arcilla o impermeabilizar por otros medios. Finalmente, el llenado de la laguna debe realizarse siguiendo las mismas pautas.
- A través de los diques, lo cual se soluciona impermeabilizando las grietas con arcilla de buena calidad. Previamente, se debe proceder a la paralización de la alimentación y desagüe parcial o total de la laguna, a fin de permitir las faenas de reparación. Por último, se debe volver a llenar la laguna bajo las mismas condiciones del primer llenado.

2.2.8.4. Operación y mantenimiento del sistema preliminar

2.2.8.4.1. Cámara de rejas

Las aguas residuales contienen trapos, desperdicios, arena, etc., que deben ser removidos antes de ingresar a las unidades de tratamiento debido a que pueden obstruir cañerías, canaletas, etc. que una vez admitidas en la planta, son de difícil remoción y pueden afectar posteriormente el proceso de tratamiento.

Los residuos atrapados en las rejas deben extraerse tantas veces al día como sea necesario para prevenir inconvenientes al libre escurrimiento del líquido. No se deberá aceptar que el porcentaje de obstrucción supere el 60% de la superficie útil de la reja.

Los residuos retenidos en las rejas serán removidos con rastrillos de mango largo, los que deben ser livianos para facilitar su manejo.

El obrero será responsable de depositar diariamente los residuos y recubrirlos con una pequeña capa de cal CaCO por lo menos una vez al día, y/o de agregar una capa de material de acopio disponible en el recinto. Se prevé un espesor de recubrimiento de un centímetro de cal y de unos dos a tres centímetros de relleno. De esta manera, se evitará que el material enterrado esté expuesto

al ambiente, provocando la producción de malos olores (por la descomposición de la materia orgánica) y la proliferación de insectos. En la eventualidad de que el pozo haya alcanzado su colmatación, el operador deberá prever la construcción de un nuevo pozo de iguales características.

2.2.8.4.2. Desarenador

La frecuencia de limpieza será una vez por semana o cada 15 días, siempre que el material acumulado no ocupe más de la mitad de la altura de la cámara de almacenamiento o $2/3$ de su extensión. El propósito es prevenir que los estanques de acumulación se colmaten y que el material sea removido de éstos hacia las unidades de tratamiento. Esta labor también será controlada durante la puesta en marcha de la planta a fin de determinar con más precisión la frecuencia óptima de limpieza.

Además, debe disponerse de una manguera que inyecte agua potable a presión para desprender todo el material retenido y dejar limpio el fondo del desarenador.

2.2.8.4.3. Medición de caudales

Se llevará un registro diario del caudal instantáneo que ingresa a la planta, la lectura se hará en la canaleta principal. Antes de cada lectura, el operador debe limpiar los canales vertedores y/o canal afluente al dispositivo de medición, impidiendo cualquier interferencia en el flujo que perjudique las lecturas. Los valores medidos deben registrarse diariamente.

Tanto la curva de descarga del medidor general como las estructuras de medición de caudales instaladas en las lagunas, deben ser comprobadas (calibradas) en la fase de puesta en marcha de la planta.

2.2.8.5. Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización

2.2.8.5.1. Operación de las lagunas

En el tratamiento de aguas residuales, es necesario ejecutar eficientemente las actividades de inspección, operación, mantenimiento y evaluación del desempeño. El operador de garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico de las lagunas.

Asimismo, es necesario prever los problemas que pudieran ocurrir. Para ello, el trabajo rutinario consistirá en la limpieza las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de las lagunas (canalizaciones vertederos e entrada y salida), de los muestreos de parámetros y observaciones al afluente efluente necesarios para la correcta evaluación del funcionamiento biológico de las lagunas.

2.2.8.5.2. Operación del funcionamiento hidráulico.

Deben controlarse tanto las tuberías de alimentación de las lagunas primarias como las interconexiones entre lagunas y las salidas de aguas tratadas de las lagunas secundarias, con fin de asegurar una buena distribución en los afluentes y efluentes de las lagunas.

Con ayuda de cepillo, se debe limpiar periódicamente los vertederos y juntas de las compuertas de los dispositivos de salida de las lagunas para evitar la formación de capas de espuma y algas.

2.2.8.5.3. Mantenimiento de las lagunas

En lo que respecta a mantenimiento las lagunas de estabilización son las unidades menos problemáticas y de menor costo:

- Limpieza del material vegetal que pueda proliferar en los taludes de los diques.
- Mantenimiento de los diques para minimizar el efecto erosivo del agua y del viento.

- Mantenimiento de las rutas de acceso.
- Reposición de estructuras de hormigón en las distintas interconexiones existentes

2.2.8.6. Prevención de olores

Puede ser producto de sobrecargas orgánicas o de una escasa población algal por falta de nutrientes, formación de corrientes preferenciales provocando cortocircuitos, cargas violentas o cambio en el tipo de agua servida, como por ejemplo la presencia de una alta concentración de sulfatos, cloruros, sustancias tóxicas, etc.

Además es posible que como consecuencia de una mala operación y mantenimiento, los olores desagradables provengan de depósitos de lodo flotante y vegetación putrefacta en algunos casos.

El problema de malos olores se puede solucionar mediante la reducción de la carga orgánica a través de la disminución del caudal de entrada o agregando los nutrientes que faltan, los cuales pueden conocerse haciendo un análisis químico del agua.

2.2.9. Geomembranas

2.2.9.1. Generalidades

Las geomembranas son hojas delgadas de materiales poliméricos utilizados principalmente como recubrimiento y cubiertas de almacenamiento de materiales sólidos y líquidos.

Las geomembranas se usan en el diseño de barreras impermeables. El empleo de este geosintético presenta las siguientes características:

- Son materiales homogéneos, de propiedades completamente cuantificables.
- Bajo una adecuada instalación, sus propiedades no sufren modificaciones durante el proceso constructivo.

- Minimizan el impacto ambiental en las obras y permiten un mejor aprovechamiento de los volúmenes disponibles.

2.2.9.2. Metodología de diseño

La metodología permite seleccionar la geomembrana más adecuada para ser instalada como barrera impermeable, garantizando la protección del ecosistema en cada una de las aplicaciones, por ejemplo, puede ser en reservorios de agua, en rellenos sanitarios, en recolección de lodos generados de los procesos industriales, en lagunas de oxidación, etc.

Se comparan las resistencias del material con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad.

$$F_{S_g} = \frac{\text{Resistencia admisible}}{\text{Resistencia Requerida}}$$

$$F_{S_g} > 1$$

Donde:

F_{S_g} = Factor de seguridad global.

Espesor de geomembrana

El espesor necesario de una geomembrana dependerá del polímero con que este fabricada dicha membrana debido a los comportamientos tan distintos a la fluencia de cada uno de los materiales.

2.2.9.3. Tipos de geomembranas

Polietileno de alta densidad (HDPE)

Es una geomembrana usada para impermeabilizar depósitos de residuos contaminantes, lagunas de oxidación, contención secundaria, pilas de lixiviación, etc.

Las Geomembranas de HDPE son producidas a partir de una resina que constituye un 97% y el resto es negro humo como

estabilizante ante la luz solar y un mínimo de lubricantes para el proceso de extrusión.

Sus propiedades están principalmente controladas por la calidad de la resina empleada y por la dispersión del negro humo. Ver las propiedades de la geomembrana en el anexo 1.

La resistencia del HDPE a ser expuesta a los rayos UV se ve incrementada al añadir el carbón negro. Tiene una alta densidad, mayor de 0,934 gr/cm³. La geomembrana de HDPE tiene un 70% Cristalinidad.

Este material es requerido por su baja permeabilidad y una excepcional resistencia a sustancias químicas así como a los rayos UV.

Polietileno de baja densidad (LLDPE)

Es una geomembrana recomendada en proyectos donde se requiere flexibilidad como en suelos donde los asentamientos diferenciales son potencial causa de daños.

Polietileno texturado

La adición de textura a la superficie de la geomembrana incrementa la fricción entre la interfase suelo-membrana permitiendo instalar en taludes de mayor pendiente.

Membranas especiales

Las características de las membranas pueden mejorarse de acuerdo a las exigencias de los proyectos, para lo cual se preparan formulaciones especiales. Como por ejemplo la geomembrana conductiva.

2.2.9.4. Ventaja del uso de geomembrana HDPE

- Mejor resistencia química a los hidrocarburos y solventes ya que presenta buen comportamiento a la agresión química, debido a su alta cristalinidad.

- El polietileno de alta densidad resiste bien al: agua, ácidos, sales inorgánicas, ácidos orgánicos, alcoholes, éteres, hidrocarburos, acetonas, gases y aceites.
- Son muy conocidas por sus resistencia al tiempo y a los rayos UV esta resistencia se ve incrementada al añadir el carbón negro, factores que contribuyen a su reputación de larga durabilidad. Estos forros tiene flexibilidad “natural” que se acomoda al subsuelo, sin tener que usar plastificantes que se puedan lixiviar al ser expuestos a la luz del sol, la tierra, y los químicos del abono como son el nitrato, amonia y contenido de ácido fosforito. Debido a que estas sustancias son altamente corrosivas al concreto, las geomenbranas de HDPE proveen una solución de larga duración, mayor durabilidad y más económica.
- Resistente a la acción de bacterias, termitas, roedores y raíces.
- Permite un mejor control de calidad a las uniones por soldadura.
- No contienen plastificantes que podrían migrar, causando un envejecimiento prematuro de la membrana o contaminar el agua potable que contenga el recipiente o reservorio impermeabilizado.

2.3. Definición de términos básicos

- **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- **Aguas residuales:** Agua contaminada por su uso y todas las aguas que se descargan en el sistema de desagüe, por ejemplo las aguas residuales domésticas y las industriales, el agua de condensación y también las aguas pluviales cuando se descargan en un sistema de desagüe de aguas residuales.

- **Anaerobio:** condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Estudio de suelos:** El estudio de suelo permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la humedad, la profundidad, el tipo de cimentación más adecuado para la obra a construir y los asentamientos de la estructura en la relación al peso que va a soportar.
- **Factor de carga:** Parámetro operacional y de diseño del proceso de lodos activados que resulta de dividir la masa del sustrato (kg DBO/d) que alimenta a un tanque de aeración, entre la masa de microorganismos en el sistema, representada por la masa de sólidos volátiles.
- **Geomembrana:**
Lámina de plástico para contener sólidos, líquidos y gases previniendo la entrada de agua o salida de gases cuando ejercen dichas membranas como revestimiento.
- **Laguna de estabilización:**
Estanque natural o artificial, o embalse poco profundo utilizado para varios propósitos tales como decantación, descomposición, enfriamiento y almacenamiento de aguas residuales y lodos.

3. MATERIAL Y METODOS

3.1. Material

3.1.1. Población

Los pobladores del distrito de Laredo, anexos y caseríos.

3.1.2. Muestra

Los pobladores del distrito de Laredo.

3.1.3. Unidad de Análisis

El aporte de aguas residuales por habitante.

3.2. Método

3.2.1. Nivel de investigación

Investigación descriptiva: Comparación técnica – económica del revestimiento de laguna de estabilización.

3.2.2. Diseño de investigación

Se realizará el diseño de la laguna de estabilización empleando geomembranas y arcilla, también se elaboraran los planos respectivos, posteriormente se calcularan los metrados y costos unitarios, para finalmente sacar el presupuesto y realizar la comparación técnica y económica de laguna de estabilización con geomembranas o arcilla.

➤ Diseño de Investigación: Investigación de campo.

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

➤ **Variable Independiente:**

(V1): rendimiento de materiales de geomembrana y arcilla.

➤ **Variable Dependiente:**

(V2): diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2: Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDICION	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Rendimiento de materiales de geomembrana y arcilla.	Espesor	Mm	Ficha de referencias de valores técnicos y análisis comparativo.
	Durabilidad	T (tiempo)	
	Resistencia	KN/m (lb/in)	
	Costo	S/.	Cotización.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDICION	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.	DBO ₅	mg/l	Estudio del aporte de materia orgánica por habitante. Parámetro del CEPIS
	Caudal	m ³ /s	Dotación poblacional.
	Talud	H(m)/V(m)	Especificaciones técnicas.
	Área	m ²	Plano topográfico.

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se usara las normas técnicas de costos y presupuestos.

3.2.5. Técnicas de procesamiento de datos

Se realizará el procesamiento de la información mediante hojas de cálculo, empleando criterios del CEPIS y del reglamento nacional de edificaciones para el diseño y comparación económica.

4. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Desarrollo de los procesos de tratamiento de aguas residuales del distrito de Laredo

A. Cámara de llegada

Las aguas residuales llegarán a una cámara de llegada, que permitirá atenuar las condiciones del flujo.

B. Desarenador

Después de la cámara de llegada, se ha previsto la construcción de una cámara de rejas, que permitirá retener los materiales sólidos.

El desarenador estará compuesta por dos canales paralelos, cada uno de ellos de 0.70 m. de ancho. El segundo canal trabajará como canal aliviadero. El canal de llegada tendrá un ancho de 0,50 m. En el canal principal irá instalado una reja de limpieza manual conformada por platinas de acero inoxidable de 1 ½" x 3/8" espaciadas 2.5 cm.

a. Cálculo de caudales

Se parte del caudal promedio, el cual es:

$$Q_p = \frac{35453 \text{ hab} \times 220 (\text{l/hab. dia})}{100} \times 80$$

$$Q_p = 6239.7 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\text{med. diario}} = 6239.7 / 86400 = 0.072 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{med. diario}} = 0.072 \times 3600 = 259.99 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{\text{max. diario}} = 1.5 \times 259.99 = 389.98 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{\text{max. horario}} = 2.4 \times 259.99 = 623.97 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{\text{max. horario}} = 173.32 \text{ l/s} = 0.173 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Cálculo de dimensiones del desarenador

De acuerdo al CEPIS se considera una velocidad horizontal típica (Vh) de 0.30 m/s (Velocidad constante que permite que partículas de 0.2mm sedimenten), y se asume un ancho de 0.70 m.

$$H = \frac{Q}{Vh \cdot Ancho}$$
$$H = \frac{0.173}{0.30 \times 0.70}$$
$$H = 0.825 \text{ m} \approx 0.85 \text{ m}$$

Por lo tanto se obtiene un tirante de agua de 0.85 m, pero la altura total será: $0.85 + 1/3 \times 0.85 = 1.13\text{m}$

c. Cálculo de la longitud del desarenador

Según la relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación (OPS/CEPIS/05.158- UNATSABAR), para partículas de 0.02 cm, se tiene una velocidad de sedimentación (Vs) de 2.1 m/min.

$$L = \frac{Vh}{Vs} \times H$$
$$L = \frac{0.30}{0.038} \times 0.825$$
$$L = 6.45 \text{ m}$$

d. Cálculo de la pendiente del canal del desarenador

Para el cálculo de la pendiente del desarenador se utiliza la fórmula de manning (Ven Te Chow, pág 96), y el coeficiente de rugosidad de concreto es de 0.012.

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}$$
$$R_h = \frac{\text{area}}{\text{perimetro mojado}}$$
$$R_h = \frac{0.7 \times 0.82}{0.82 + 0.7 + 0.82}$$

$$R_h = 0.26$$

$$S^{1/2} = V \cdot n \cdot R_h$$

$$S^{1/2} = 0.3 \times 0.012 \times 0.26$$

$$S = 0.038 = 3.8\%$$

Donde:

V = velocidad

R_h = Radio hidráulico

S = Pendiente

n = coeficiente de rugosidad

C. Medidor de caudal

Después del desarenador se construirá un medidor de régimen crítico tipo Palmer Bowlus, ya que tiene la ventaja de su fácil construcción con las mismas ventajas ofrecidas por el medidor tipo Parshall.

El medidor Palmer Bowlus tendrá un ancho de 0.50 m en el canal de alimentación y un ancho de garganta de 0.30 m, con una pendiente de 3%.

D. Estructuras de ingreso a las lagunas primarias facultativas

A partir de la salida de la estructura de derivación de caudal que alimenta a cada una de las lagunas facultativas, se ubicarán una caja repartidora de caudal que dividirá el flujo en dos partes para luego ser dividida nuevamente en dos mediante el empleo de una segunda caja repartidora. De esta manera, a cada laguna ingresará dos tuberías, el mismo que permitirá un mayor frente de descarga y un mejor flujo hidráulico al interior de las lagunas facultativas.

Los caudales a ser alimentados a cada laguna sería de 24.14 l/s. Para estos caudales, el tramo principal de alimentación tendrá una pendiente de 0.4% y un ancho de canal de 300 mm. Los tramos que ingresan a la laguna tendrán una pendiente de 1.0% y un diámetro de 160 mm. Estas

tuberías descansarán sobre una canaleta abierta de concreto, el cual a su vez será sostenido por columnas de concreto.

E. Estructuras de interconexión a lagunas de maduración

La interconexión entre las lagunas primarias facultativas y de maduración se ejecutará por medio de dos tuberías de 200 mm de diámetro y que descargaran al borde las lagunas de maduración.

F. Estructuras de salida de las lagunas de maduración

Se ha considerado por cada laguna de maduración dos estructuras de salida que estarán ubicadas distanciadas de la orilla del talud y dotadas de pantallas para retener el material flotante. Por el caudal a ser drenado por las lagunas de estabilización, se ha considerado que el drenaje de cada una de las lagunas se ejecute con tuberías PVC de 250 mm de diámetro.

G. Diseño de la laguna de estabilización del distrito de Laredo

a. Población

La población total urbana del distrito de Laredo según el Censo del año 2007 (INEI), es de 24377 habitantes. Así mismo la tasa del crecimiento demográfico de la ciudad es de 1.3%. Se calcula que para un periodo de diseño de 20 años, partiendo del año 2016, la población para el año 2036 ascenderá a 35453 habitantes. La población para diferentes períodos del proyecto se presenta en la tabla 4.

Tabla 4: Población estimada

AÑO		POBLACIÓN TOTAL (Hab)
-	2007	24377
0	2016	27382
10	2026	31157
20	2036	35453

Fuente: INEI

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^T$$

$$P_{2036} = 27382 \left(1 + \frac{1.3}{100}\right)^{20}$$

$$P_{2036} = 35453 \text{ hab.}$$

b. Cantidad de aguas residuales crudas (Caudal)

La cantidad de aguas residuales depende de la población servida o grado de cobertura del sistema de alcantarillado, de la cantidad de agua consumida, de la temperatura medio ambiental, de las condiciones climáticas y del tipo de alcantarillado.

Según la norma OS.100, la dotación del agua es de 180 l/hab/d en clima frío y de 220 l/hab/d en clima templado y cálido.

La eficiencia de remoción de DBO soluble es de 80%; así como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días a 20 °C, es de 50 gDBO/(hab.d). (Norma OS.090). Tabla 5.

Tabla 5: Aporte per cápita para aguas residuales domesticas

APORTE PER CÁPITA PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	
PARAMETROS	
-DBO 5 días, 20° C, g/(hab.d)	50
-Sólidos en suspensión, g/(hab.d)	90
-NH3 – N como N, g/(hab.d)	8
-N Kjeldahl total como N, g/(hab.d)	12
-Fósforo total, g/(hab.d)	3
-Coliformes fecales. N° de bacterias /(hab.d)	2x10 ¹¹
-Salmonella Sp., N° de bacterias /(hab.d)	1x10 ⁸
-Nematodes intes., N° de huecos /(hab.d)	4x10 ⁵

Fuente: Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{100} \times \% \text{Contribución}$$

$$Q_p = \frac{35453 \text{ hab} \times 220 (\text{l/hab. dia})}{100} \times 80$$

$$Q_p = 6239.7 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Qp = 72.22 \text{ l/s}$$

Se estima que al año 2036 se generará un total de 6239.7 m³/día de aguas residuales.

c. Carga orgánica (C)

Teniendo en cuenta que al horizonte del proyecto (2036) las lagunas de estabilización deberán estar en capacidad de tratar las aguas residuales provenientes de 35,453 personas; con una contribución per cápita de 50 (kg.DBO/hab.día), que se obtiene según los parámetros de la tabla 5 de aportes per cápita para aguas residuales domésticas.

$$C = \frac{\text{Población} \times \text{Contribución per cápita (kg. DBO/hab.día)}}{1000}$$

$$C = \frac{35453 \times 50 (\text{kg. DBO/hab.día})}{1000}$$

$$C = 1772.65 \text{ kgDBO}_5/\text{día}$$

d. Cálculo de la temperatura del agua

En el diseño de las lagunas de estabilización de aguas residuales, se ha tenido en cuenta los resultados reportados por la estación meteorológica de Trujillo - 000406, suministrados por el SENAMHI y que se muestran en la tabla 6.

Se considera la temperatura del mes más frío de Laredo. Debido a que a mayor temperatura, mayor será el crecimiento de microorganismos y viceversa.

Tabla 6: Datos meteorológicos de la estación de Trujillo-000406

MESES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL 2016 (°C)
Enero	24.7
Febrero	25.9

Marzo	25.6
Abril	23.3
Mayo	18.8
Junio	16.1
julio	20.9
Agosto	20
Setiembre	24
Octubre	21.2
Noviembre	22.3
Diciembre	26.7

Fuente: SENAMHI

$$T^{\circ}agua = T^{\circ}amb \pm 1^{\circ}C$$

Si $T^{\circ} < 25^{\circ}C$

$$T^{\circ}agua = T^{\circ}am + 1^{\circ}C$$

$$T^{\circ}agua = 16.1 + 1^{\circ}C$$

$$T^{\circ}agua = 17.1^{\circ}C$$

e. Carga superficial

La carga de diseño para las lagunas facultativas se determina según la norma de saneamiento OS.090

$$CS_{diseño} = 250 \times 1.05^{(T-20)}$$

$$CS_{diseño} = 250 \times 1.05^{(17.1-20)}$$

$$CS_{diseño} = 217.02 \text{ kgDBO}_5/\text{ha.dia}$$

f. Área de la laguna (ha)

$$\text{Área} = \frac{1772.65 \text{ kgDBO}_5/\text{dia}}{217.02 \text{ kgDBO}_5/\text{ha.dia}}$$

$$\text{Área} = 8.17 \text{ ha.}$$

g. Área de cada laguna(ha)

$$Ac/laguna = \frac{8.17}{6}$$

$$\text{Área} = 1.36 \text{ ha.}$$

h. Volumen de lodos

Se utilizara un valor de producción de lodos sedimentables de 120 lts/hab./año (valor recomendado por la CEPIS).

El volumen de lodos primarios debe calcularse para el final del periodo de diseño y evaluarse para cada 5 años de operación (Norma OS.090).

$$V_{lodos} = \frac{Pob \times Tax \times N}{1000}$$

$$V_{lodos} = \frac{35453 \times 120 \times 5}{1000}$$

$$V_{lodos} = 21271.86 \text{ m}^3$$

i. Altura de lodos

$$Z_{lodos} = \frac{V_{lodos}}{Af}$$

$$Z_{lodos} = \frac{21271.86 \text{ m}^3}{8.17 \text{ ha}}$$

$$Z_{lodos} = 0.26 \text{ m}$$

j. Diseño de la laguna primaria facultativa

➤ **Número de lagunas en paralelo:**

Se ha considerado 3 lagunas en paralelo por la cantidad de carga orgánica que presenta para el año 2036, y para mayor facilidad de mantenimiento de las lagunas.

➤ **Relación largo/ancho de la laguna:**

$$\frac{L}{W} = 2$$

➤ **Profundidad de la laguna:**

La norma OS.090 recomienda para el diseño de una laguna facultativa primaria una profundidad mayor de 1.50m.

Por lo que se considera: $Z = 1.70$ m, para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo.

➤ **Talud (Z_p):**

El talud interior tiene una inclinación de 1V/2H

➤ **Borde libre:**

El borde libre viene a ser la medida de seguridad de las lagunas en general contra cualquier efecto de rebalse de las aguas depositadas en ella por efecto del oleaje producido por acción del viento y/o sismo.

El borde libre recomendado por la Norma OS.090 para lagunas de estabilización es de 0.50m.

➤ **Dimensiones de las lagunas:**

- Dimensiones de espejo de agua

Longitud = 193.4 m

Ancho = 78.4 m

- Dimensiones de coronación

Longitud = 195.4 m

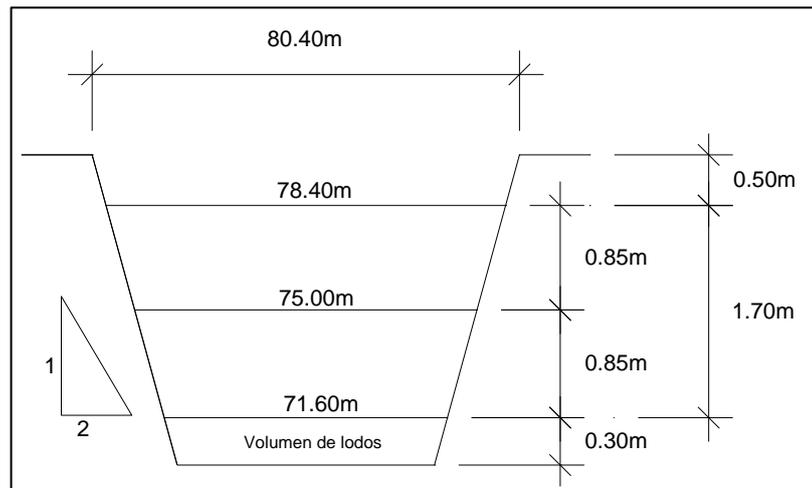
Ancho = 80.4 m

- Dimensiones de fondo

Longitud = 186.6 m

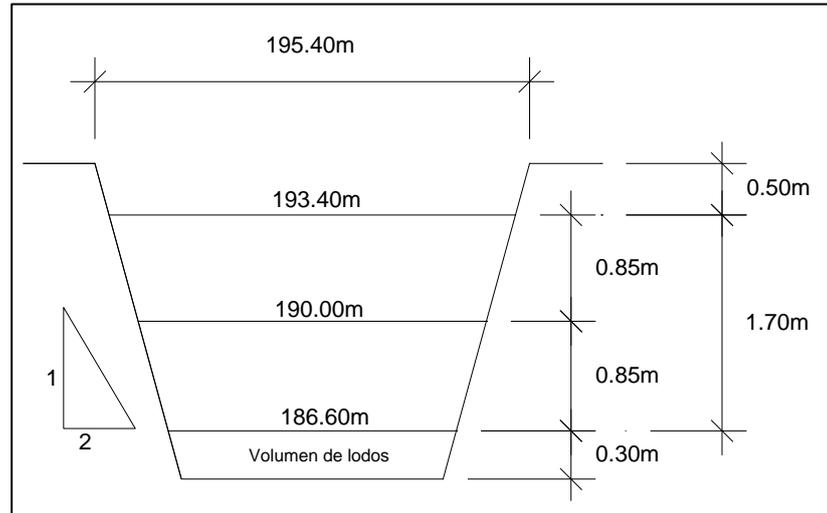
Ancho = 71.6 m

Figura 8: Dimensiones del ancho de la laguna primaria facultativa



Fuente: Propia

Figura 9: Dimensiones del largo de la laguna primaria facultativa



Fuente: Propia

➤ **Periodo de retención**

La evaporación y la precipitación tienen importancia en la determinación de la cantidad de agua perdida por evaporación o ganada por las lluvias en las lagunas de estabilización. Este dato ha sido deducido de los registros proporcionados por el SENAMHI habiéndose adoptado un valor crítico de 2.7 mm/día para la evaporación y 0.04 mm/día para la precipitación. Tabla 7.

$$Q_e = 2079.91 - 0.266 \times 190 \times 75 / 100 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_e = 2042.01 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 7: Datos de precipitación y evaporación - Estación de Trujillo

Meses del 2015	Precipitación mensual 2015 (mm)	Evaporación mensual (mm)
Enero	0.00	104.40
Febrero	0.00	116.20
Marzo	10.00	127.20
Abril	2.00	100.90
Mayo	0.50	66.90
Junio	0.00	55.20
Julio	0.60	48.10
Agosto	0.00	48.40
Setiembre	0.10	55.00
Octubre	0.70	77.30
Noviembre	0.10	82.20
Diciembre	0.00	98.70
Suma	14.00	980.50
Promedio mensual (mm)	1.17	81.71
Promedio mensual (cm)	0.12	8.17
Promedio diario (mm)	0.04	2.70

Fuente: SENAMHI

Según estudios realizados por la CEPIS en diversas lagunas de estabilización, se tiene que para lagunas primarias existe una pérdida de un 4% del caudal que ingresa a la laguna, este fenómeno se debe a evaporación e infiltración.

$$Q_e = 2079.91 - 4\% \times 2079.91 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_e = 1996.72 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Se considera más conveniente para el cálculo del caudal del efluente de las lagunas primarias facultativas los datos obtenidos por SENAMHI por ser datos reales de la zona. Por ello el caudal del efluente será 2042.01 m³/dia.

$$PR_{teórico} = \frac{Volumen}{Qe}$$

$$PR_{teórico} = \frac{190x75x2}{2042.01}$$

$$PR_{teórico} = 14 \text{ dias}$$

Para el cálculo del periodo de retención de las lagunas primarias facultativas, el factor de corrección hidráulica (Fch) varía de 0,3 a 0,6 según el CEPIS, por lo que se considera un valor conservador de 0,6.

$$PR_{real} = PR_{teórico} \times Fch$$

$$PR_{real} = 14 \times 0.6$$

$$PR_{real} = 8.4 \text{ dias}$$

➤ Factor de dispersión

El factor de dispersión en el modelo de flujo disperso puede determinarse según la forma de la laguna y el valor de la temperatura. (Norma OS.090). Los siguientes valores son referenciales para la relación largo/ancho. Ver tabla 8.

Tabla 8: Factor de dispersión según la relación largo/ancho

Relación largo-ancho	Factor de dispersión
1	1
2	0.5
4	0.25
8	0.12

Fuente: Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales

El factor de dispersión según CEPIS se calcula:

$$d = \frac{1.158x\{Rx(W + 2Z)^{0.489}\}xW^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734}x(LxZ)^{1.489}}$$

$$d = \frac{1.158x\{8.4x(75 + 2x1.7)^{0.489}\}x75^{1.511}}{(17.1 + 42.5)^{0.734}x(190x1.7)^{1.489}}$$

$$d = 0.502$$

Si cumple, el valor de “d” que debe ser menor de 2.

➤ **Cálculo de la constante a**

El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación según la Norma de Saneamiento OS.090 (RNE).

El coeficiente de mortalidad neto a 20°C (K_{20}) adoptaremos el valor de 0,6 l/d.

$$\begin{aligned}K_b &= K_{20} \times 1.05^{(T-20)} \\K_b &= 0.6 \times 1.05^{(17.1-20)} \\K_b &= 0.521 \text{ (1/día)} \\a &= \sqrt{(1 + 4 \times K_b \times R \times d)} \\a &= \sqrt{(1 + 4 \times 0.521 \times 8.4 \times 0.502)} \\a &= 3.12\end{aligned}$$

➤ **Remoción biológica**

La concentración de coliformes fecales que ingresan a la laguna primaria facultativa que se obtiene a partir del balance de masa es de 1.00E+08 N/100ml.

$$\begin{aligned}N &= \frac{N_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} \\N &= \frac{(1.00E+08) \times 4 \times 3.12 \times e^{((1-3.12)/2 \times 0.502)}}{(1+3.12)^2} \\N &= 8.86E+06 \text{ N/100ml}\end{aligned}$$

El número de coliformes fecales en el efluente es de 8.86E+06 N/100ml.

La eficiencia parcial de remoción de coliformes fecales es del 91.14%

➤ **Remoción de la DBO (DBO del efluente)**

Para calcular la máxima carga aplicada, se considera la temperatura ambiente que es de 16.1°C.

$$CSa = 60.29 \times (1.0993)^{(Ta)}$$

$$CSa = 60.29x(1.0993)^{(16.1)}$$

$$CSa = 276.83 \text{ kg DBO/hab}$$

Para calcular la remoción de DBO en forma aproximada, se usa la siguiente correlación empírica:

$$CSr = A + B.CSa$$

$$CSr = 10.35 + 0.725xCSa$$

$$CSr = 10.35 + 0.725x276.83$$

$$CSr = 211.05 \text{ kg DBO/hab}$$

La eficiencia de remoción de DBO:

$$E = \frac{CSr}{CSm}$$

$$E = \frac{211.05}{276.83}$$

$$E = 0.76 = 76\%$$

El DBO del afluente es:

$$DBO_{teórica} = \frac{Contr.percapita}{(Dotaciónx\%Contr.al.desague)} x 1000$$

$$DBO_{teórica} = \frac{50}{(220x0.80)} x 1000$$

$$DBO_{teórica} = 284.09 \text{ mg/l}$$

Entonces el DBO del efluente es:

$$DBO_{efluente} = \frac{284.09}{(1 - 0.76)}$$

$$DBO_{efluente} = 69.34 \text{ mg/l}$$

Se busca tener una remoción del 90% de la DBO por lo que el DBO del último efluente sería de 28.41 mg/l.

El DBO del efluente sale 69.34mg/l, como este valor resulta ser mayor que el exigido para obtener un 90% de remoción de DBO (28.41 mg/l) por lo que es necesario dimensionar una laguna secundaria en serie.

k. Consideraciones para laguna de maduración

Las lagunas de maduración están dirigidas a disminuir gran parte de la carga orgánica y una parte del contenido microbiológico que poseen las aguas servidas y su máxima capacidad de tratamiento.

➤ Número de lagunas de maduración: 3

➤ Relación largo/ancho de la laguna:

$$\frac{L}{W} = 2$$

➤ **Profundidad de la laguna:**

Una laguna de maduración tiene una profundidad de 1.00 a 1.50 m.
Por lo que se considera: $Z = 1.50$ m.

➤ **Talud (Zp):**

El talud interior tiene una inclinación de 1V/2H

➤ **Borde libre:**

El borde libre recomendado por la Norma OS.090 para lagunas de estabilización es de 0.50m.

➤ **Cálculo del área de la laguna de maduración.**

La CEPIS recomienda que para lagunas secundarias la carga superficial máxima estará en el rango de 150 a 250 Kg.DBO/Ha. día a 20 °C. Por lo que se considera en el diseño $CSm = 250$ kg.DBO/ha.día.

El DBO de afluente de la laguna secundaria se multiplica por un factor de seguridad de 1.5, valor recomendado por la CEPIS.

$$DBO = 69.34 \times 1.5 = 104.01 \text{ g/m}^3$$

La carga orgánica que llega a la laguna de maduración es:

$$C = \frac{DBOx Q_{afluente}}{1000}$$

$$C = \frac{104.01x 2046}{1000}$$

$$C = 212.8 \text{ kgDBO}_5/\text{dia}$$

$$\text{Área} = \frac{212.8 \text{ kgDBO}_5/\text{dia}}{250 \text{ kgDBO}_5/\text{ha. dia}}$$

$$\text{Área} = 0.851 \text{ ha.}$$

➤ **Relación largo/ancho de la laguna:**

$$\frac{L}{W} = 2$$

$$W = \sqrt{\frac{\text{Area}}{2}} \rightarrow \sqrt{\frac{8510}{2}}$$

$$W = 65.2 \text{ m} \approx 70 \text{ m}$$

$$L = 130 \text{ m}$$

➤ **Dimensiones de las lagunas primarias facultativas:**

- Dimensiones de espejo de agua

Longitud = 133 m

Ancho = 73 m

- Dimensiones de coronación

Longitud = 135 m

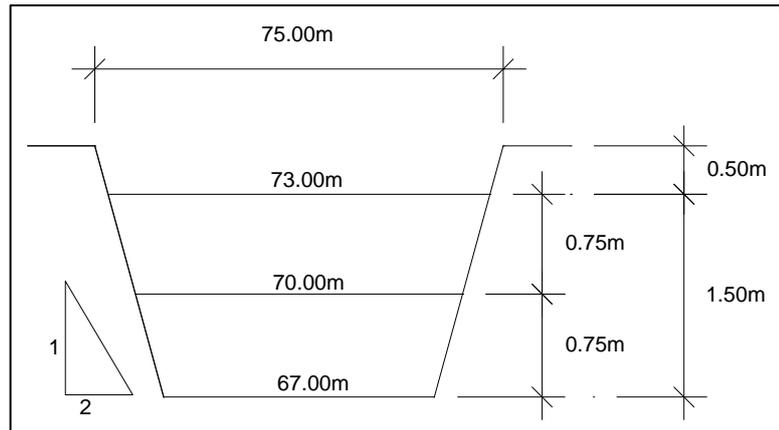
Ancho = 75 m

- Dimensiones de fondo

Longitud = 127 m

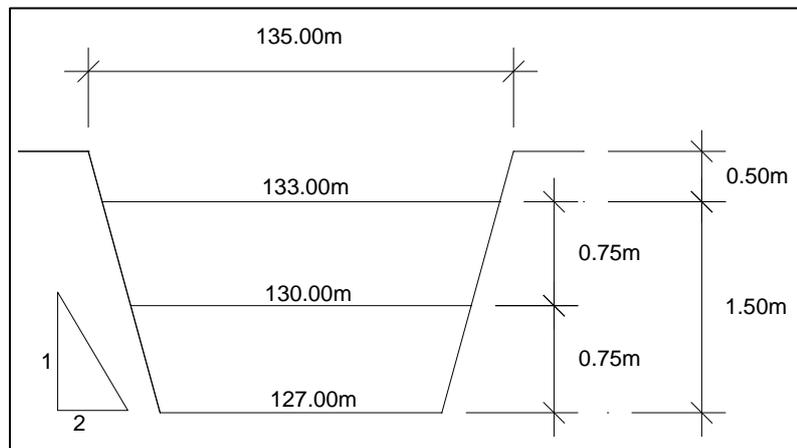
Ancho = 67 m

Figura 10: Dimensiones del ancho de la laguna de maduración



Fuente: Propia

Figura 11: Dimensiones del largo de la laguna de maduración



Fuente: Propia

➤ **Periodo de retención**

Estudios realizados por la CEPIS en diversas lagunas de estabilización, se tiene que para lagunas secundarias existe una pérdida de un 7% del caudal que ingresa a la laguna, este fenómeno se debe a evaporación e infiltración.

$$Q_e = 2042.01 - 7\% \times 2042.01 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_e = 1899.07 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$PR_{\text{teórico}} = \frac{\text{Volumen}}{Q_e}$$

$$PR_{\text{teórico}} = \frac{130 \times 70 \times 1.5}{1899.07}$$

$$PR_{teórico} = 7.2 \text{ dias}$$

El factor de corrección hidráulica (Fch) que se ha considerado es de 0,8.

$$PR_{real} = PR_{teórico} \times Fch$$

$$PR_{real} = 7.2 \times 0.8$$

$$PR_{real} = 5.75 \text{ dias}$$

➤ Factor de dispersión

El factor de dispersión según CEPIS se calcula:

$$d = \frac{1.158 \times \{R \times (W + 2Z)^{0.489}\} \times W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} \times (L \times Z)^{1.489}}$$

$$d = \frac{1.158 \times \{5.75 \times (70 + 2 \times 1.5)^{0.489}\} \times 70^{1.511}}{(17.1 + 42.5)^{0.734} \times (130 \times 1.5)^{1.489}}$$

$$d = 0.639$$

Si cumple, el valor de “d” debe ser menor de 2.

➤ Calculo de la constante a

El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación según la Norma de Saneamiento OS.090 (RNE).

El coeficiente de mortalidad neto a 20°C (K₂₀) adoptaremos el valor de 0,8 l/d.

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

$$K_b = 0.8 \times 1.05^{(17.1-20)}$$

$$K_b = 0.694$$

$$a = \sqrt{(1 + 4 \times K_b \times R \times d)}$$

$$a = \sqrt{(1 + 4 \times 0.694 \times 5.75 \times 0.639)}$$

$$a = 3.35$$

➤ **Remoción biológica**

La concentración de coliformes fecales que ingresan a la laguna de maduración es de $8.86E+06$ N/100ml.

$$N = \frac{N_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2}$$

$$N = \frac{(8.86E + 06) \times 4 \times 3.35 \times e^{((1-3.35)/2 \times 0.639)}}{(1 + 3.35)^2}$$

$$N = 1.0E + 06 \text{ N/100ml}$$

El número de coliformes fecales en el efluente es de $1.0E+06$ N/100ml.

La eficiencia parcial de remoción de coliformes fecales es del 88.71%.

La eficiencia total de remoción de coliformes fecales es del 99%.

➤ **Remoción de la DBO (DBO del efluente)**

La máxima carga aplicada:

$$CSa = 250 \text{ kg DBO/hab}$$

Para calcular la remoción de DBO en forma aproximada, se usa la siguiente correlación empírica:

$$CSr = A + B \cdot CSa$$

$$CSr = 10.35 + 0.725 \times CSa$$

$$CSr = 10.35 + 0.725 \times 250$$

$$CSr = 191.6 \text{ kg DBO/hab}$$

La carga superficial del efluente:

$$CSe = CSa - CSr$$

$$CSe = 250 - 191.6$$

$$CSe = 58.4 \text{ kg DBO/hab}$$

El DBO del efluente:

$$DBO = \frac{58.4 \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{DBO}}{\text{hab}} \right) \times 70(\text{m}) \times 130(\text{m}) \times 100}{10000 \times 1900.92(\text{m}^3/\text{dia})}$$

$$DBO = 27.98 \text{ mg/l}$$

La eficiencia de remoción de DBO es:

$$E = \frac{69.34 - 27.98}{69.34}$$

$$E = 0.5854$$

$$E = 58.54\%$$

La eficiencia de remoción total de DBO es:

$$E = \frac{284.09 - 27.98}{284.09}$$

$$E = 0.9015$$

$$E = 90.15\%$$

El DBO del efluente es 27.98 mg/l, este valor resulta ser menor que el exigido para obtener un 90% de remoción de DBO que es 28.41 mg/l, entonces ya que la eficiencia de remoción de DBO es de 90.15%, se considera que el diseño es aceptable.

Además el periodo de retención total es 14.12 días, el cual resultado mayor a 10 días, por lo que existirá una remoción del 100% de parásitos.

H. Disposición final

Las aguas residuales tratadas biológicamente serán descargadas al Río Moche, la mezcla resultante, alcanzará una eficiencia de remoción de DBO del 90.15% y con un 99% de eficiencia de remoción de coliformes fecales.

4.2. Costos de operación y mantenimiento

A. Calendario de actividades

Tabla 9: Calendario de actividades de mantenimiento de las lagunas de estabilización

ACTIVIDAD	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actividades Diversas												
Verificación y/o eliminación de nidos y dentro de las instalaciones, madrigueras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mantenimiento o reposición de señalamientos						*						*
Mantenimiento de áreas verdes.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pintura en área de estacionamiento.												*
Estructuras de Concreto.												
Inspección de las estructuras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza de registros	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Desazolve de estructuras						*						*
Eliminación de vegetación	*		*		*		*		*		*	
Pintura en puertas y compuertas	*						*					
Lubricación en puertas, compuertas y tapas	*			*			*			*		
Lagunas												
Inspección de cada una de las lagunas que conforman el sistema.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Eliminación de lodos	Cada 5 años											
Limpieza General (bordos, taludes, espejo del agua, etc).	*		*		*		*		*		*	

Fuente: Propia

B. Costos de mantenimiento para lagunas de estabilización con geomembrana

➤ **Mano de obra**

TRABAJADORES	EVENTUAL / PERMANENTE	CANTIDAD	MESES LABORABLES	SUELDO BASE (s/.)	SUELDO ANUAL (s/.)
Operador	Permanente	3	12	1500	54000
Vigilante	Permanente	1	12	1000	12000
Ayudante	Eventual	2	12 semanas	850	5100
TOTAL					71100

➤ **Materiales**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD (AÑO)	PRECIO (S/.)	COSTO (S/.)
Pintura Anticorrosivo	Gal	4	40.00	160.00
Pintura Epóxica	Gal	4	152.50	610.00
Brochas	Und	4	12.48	49.92
Buggis	Und	2	131.50	263.00
Escobillón de Nylon	Und	2	12.44	24.88
Herramientas de Albañilería	Glb	1	295.00	295.00
Escalera	Und	1	98.53	98.53
Espumadera metal acerada	Und	2	64.90	129.80
Machetes	Und	3	20.23	60.69
Lampa tipo cuchara y derecha	Und	3	32.80	98.40
Manguera de 1" de diámetro	m	200	2.60	520.00
Pico	Und	3	59.00	177.00
Rastrillo de metal	Und	3	22.16	66.48
Tijera de podar	Und	3	20.22	60.66
Llave Stilson	Und	1	15.34	15.34
Linterna	Und	3	9.60	28.80
Potenciómetro (medidor de pH)	Und	1	110.00	110.00
Walkie talkie	Und	2	270.00	540.00
TOTAL				3308.50

➤ **Equipos de seguridad**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD (AÑO)	PRECIO (S/.)	COSTO (S/.)
Botas musleras	Par	3	33.90	101.70
Zapatos punta acerada	Par	3	59.90	179.70
Botas de jebe	Par	3	24.90	74.70
Casaca manga drill	Und	3	19.90	59.70
Cascos	Und	4	4.50	18.00
Chaleco salvavidas	Und	4	77.00	308.00
Guantes de jebe	Und	6	7.90	47.40
Máscaras antigas	Und	6	99.90	599.40
Pantalón drill	Und	3	57.20	171.60
Botiquin	Und	1	100.00	100.00
Jabon carbolico	Und	4	4.00	16.00
Detergente	Kg	4	10.00	40.00
Pastilla para máscara	Und	18	9.21	165.78
TOTAL				1881.98

➤ **Maquinaria**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	COSTO (S/.)
Camión Volquete	HM	189.08	135	25526.23
Bote remos	Und	1	4481	4481.00
Motobomba	Und	1	2076	2076.00
TOTAL				6557.00

➤ **Reparaciones**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (AÑO)	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Parchado	m2	4	400	1600

C. Costos de mantenimiento para lagunas de estabilización con arcilla

➤ Mano de obra

TRABAJADORES	EVENTUAL / PERMANENTE	CANTIDAD	MESES LABORABLES	SUELDO BASE (s/.)	SUELDO ANUAL (s/.)
Operador	Permanente	3	12	1500	54000
Vigilante	Permanente	1	12	1000	12000
Ayudante	Eventual	4	12 semanas	850	10200
TOTAL					76200

➤ Materiales

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD (AÑO)	PRECIO (S/.)	COSTO (S/.)
Pintura Anticorrosivo	Gal	4	40.00	160.00
Pintura Epóxica	Gal	4	152.50	610.00
Brochas	Und	4	12.48	49.92
Buggis	Und	2	131.50	263.00
Escobillón de Nylon	Und	2	12.44	24.88
Herramientas de Albañilería	Glb	1	295.00	295.00
Escalera	Und	1	98.53	98.53
Espumadera metal acerada	Und	2	64.90	129.80
Machetes	Und	3	20.23	60.69
Lampa tipo cuchara y derecha	Und	3	32.80	98.40
Manguera de 1" de diámetro	m	200	2.60	520.00
Pico	Und	3	59.00	177.00
Rastrillo de metal	Und	3	22.16	66.48
Tijera de podar	Und	3	20.22	60.66
Llave Stilson	Und	1	15.34	15.34
Linterna	Und	3	9.60	28.80
Potenciómetro (medidor de pH)	Und	1	110.00	110.00
Walkie talkie	Und	2	270.00	540.00
TOTAL				3308.50

➤ **Equipos de seguridad**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD (AÑO)	PRECIO (S/.)	COSTO (S/.)
Botas musleras	Par	3	33.90	101.70
Zapatos punta acerada	Par	3	59.90	179.70
Botas de jebe	Par	3	24.90	74.70
Casaca manga drill	Und	3	19.90	59.70
Cascos	Und	4	4.50	18.00
Chaleco salvavidas	Und	4	77.00	308.00
Guantes de jebe	Und	6	7.90	47.40
Máscaras antigás	Und	6	99.90	599.40
Pantalón drill	Und	3	57.20	171.60
Botiquín	Und	1	100.00	100.00
Jabón carbólico	Und	4	4.00	16.00
Detergente	Kg	4	10.00	40.00
Pastilla para máscara	Und	18	9.21	165.78
TOTAL				1881.98

➤ **Maquinaria**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	COSTO (S/.)
Camión Volquete	HM	189.08	135	25526.23
Bote remos	Und	1	4481	4481.00
Motobomba	Und	1	2076	2076.00
TOTAL				6557.00

➤ **Reparaciones**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (AÑO)	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Reposición de fondo	m3	2393.556	52.09	24936.07

5. RESULTADOS

5.1. Estimación de la población

La población total urbana estimada del distrito de Laredo para el año 2036 con una tasa del crecimiento demográfico de 1.3%. Se calcula que para un periodo de diseño de 20 años, partiendo del año 2016, la población será de 35453 habitantes.

Tabla 10: Población estimada para el año 2036

AÑO		POBLACIÓN TOTAL (Hab)
0	2016	27382
20	2036	35453

Fuente: Propia

5.2. Diseño de la laguna de estabilización

El diseño de las lagunas de estabilización se realizó siguiendo las recomendaciones del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) y la norma OS.090 del reglamento nacional de edificaciones.

Laguna Primaria Facultativa

Tabla 11: Características de la laguna primaria facultativa

LAGUNA PRIMARIA FACULTATIVA	
Número de lagunas	3
Inclinación de talud	1V/2H
Profundidad útil	1.70 m
Altura de lodos	0.30 m
Borde libre	0.50 m
Profundidad total	2.50 m
Periodo de retención	8.4 días

Área de la laguna		1.571 ha
Dimensiones de coronación	Longitud	195.40 m
	Ancho	80.40 m
Dimensiones de espejo de agua	Longitud	193.40 m
	Ancho	78.40 m
Dimensiones de fondo	Longitud	186.60 m
	Ancho	71.60 m
Caudal del afluente		2079.91 m ³ /día
Caudal del efluente		2042.01 m ³ /día
DBO afluente		284.09 mg/l
DBO efluente		67.50 mg/l
Eficiencia parcial de remoción de DBO		76%
Coliformes fecales en el afluente		1.00E+08
Coliformes fecales en el efluente		8.86E+06
Eficiencia parcial de remoción de C.F.		91.14%

Fuente: Propia

Laguna de Maduración

Tabla 12: Características de la laguna de maduración

LAGUNA DE MADURACION		
Número de lagunas		3
Inclinación de talud		1V/2H
Profundidad útil		1.50 m
Borde libre		0.50 m
Profundidad total		2.00 m
Periodo de retención		5.75 días
Área de la laguna		1.013 ha
Dimensiones de coronación	Longitud	135 m
	Ancho	75 m
Dimensiones de espejo de agua	Longitud	133.00 m
	Ancho	73.00 m

Dimensiones de fondo	Longitud	127 m
	Ancho	67 m
Caudal del afluente		2042.01 m ³ /día
Caudal del efluente		1899.07 m ³ /día
DBO afluente		67.50 mg/l
DBO efluente		27.98 mg/l
Eficiencia parcial de remoción de DBO		58.5%
Eficiencia total de remoción de DBO		90.15%
Coliformes fecales en el afluente		8.86E+06
Coliformes fecales en el efluente		1.00E+06
Eficiencia parcial de remoción de C.F.		88.71%
Eficiencia total de remoción de C.F.		99%

Fuente: Propia

5.3. Determinación de metrados, costos unitarios y presupuestos

5.3.1. Laguna de estabilización con geomembranas

El presupuesto de las lagunas con geomembranas fue determinado bajo los siguientes parámetros:

- Partidas involucradas
- Metrado de cada partida.
- Precios unitarios de cada partida. Ver anexo 2
- Porcentajes de gastos generales
- El impuestos general a las vetas (I.G.V.)

Este presupuesto contempla las partidas de Revestimiento fondo de laguna con arcilla e=10cm y Suministro e instalación de geomembrana de PVC GI-T1-C2 e=1.0 mm.

Tabla 13: Presupuesto de la laguna de estabilización con geomembrana

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto	0801001	"COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE LAREDO"			
Subpresupuesto	001	LAGUNA CON GEOMEMBRANA			
Cliente	UPAO	Costo al	01/11/2016		
Lugar	LA LIBERTAD - TRUJILLO - LAREDO				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN				3,955,728.69
01.01	OBRAS PROVISIONALES				134.14
01.01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 m	m2	1.00	134.14	134.14
01.02	OBRAS PRELIMINARES				18,062.03
01.02.01	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	ha	7.11	2,540.37	18,062.03
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				3,937,532.52
01.03.01	EXCAVACION MASIVA PARA CONFORMACION DE TERRAPLEN Y TALUDES	m3	135,037.38	6.10	823,728.02
01.03.02	REVESTIMIENTO FONDO DE LAGUNA CON ARCILLA E=10CM	m2	64,277.35	4.86	312,387.92
01.03.03	REFINE DE TALUD Y FONDO DE LAGUNA DE ESTABILIZACION	m2	88,353.17	4.31	380,802.16
01.03.04	SUM. E INST. DE GEOMEMBRANA DE PVC GI-T1-C2 e=1.0 mm	m2	80,249.13	9.79	785,638.98
01.03.05	RELLENO MASIVO P/FORMACION DE DIQUES INC. CARGUIO Y TRANSPORTE	m3	11,465.89	20.04	229,776.44
01.03.06	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (R=5KM)	m3	148,541.12	9.46	1,405,199.00
02	CAMARA DE REJAS, MEDIDOR DE CAUDAL , DESARENADOR, CANAL DE DISTRIBUCION Y REPARTIDORES				78,973.39
02.01	OBRAS PRELIMINARES				296.48
02.01.01	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	253.40	1.17	296.48
02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				18,148.82
02.02.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	304.38	42.17	12,835.70

02.02.02	REFINE Y NIVELACION EN TERRENO NORMAL	m2	281.51	4.31	1,213.31
02.02.03	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	12.07	77.25	932.41
02.02.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (R=5KM)	m3	334.82	9.46	3,167.40
02.03	CONCRETO SIMPLE				570.07
02.03.01	CONCRETO F'c=100KG/CM2 P/SOLADOS Y/O ZAPATAS (CEMENTO PII)	m3	2.10	271.46	570.07
02.04	CONCRETO ARMADO				57,582.60
02.04.01	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	16.74	420.95	7,046.70
02.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	529.68	53.01	28,078.34
02.04.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	5,411.46	4.15	22,457.56
02.05	REJILLAS				1,183.06
02.05.01	REJILLA METALICA	u	1.00	586.53	586.53
02.05.02	REJILLA PARA CANAL BY PASS	u	1.00	596.53	596.53
02.06	COMPUERTAS				1,192.36
02.06.01	COMPUERTAS PLANCHA METALICA 1/8" DE 0.7x1.10	u	1.00	600.33	600.33
02.06.02	COMPUERTAS PLANCHA METALICA 1/8" DE 0.7x0.90	u	1.00	592.03	592.03
03	ESTRUCTURA DE ENTRADA Y SALIDA (LOSA Y COLUMNAS) E INTERCONEXIÓN				78,138.55
03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				2,199.59
03.01.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	52.16	42.17	2,199.59
03.02	CONCRETO SIMPLE				952.82
03.02.01	CONCRETO F'c=100KG/CM2 P/SOLADOS Y/O ZAPATAS (CEMENTO PII)	m3	3.51	271.46	952.82
03.03	CONCRETO ARMADO				51,996.57
03.03.01	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	40.21	420.95	16,926.40
03.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	186.65	53.01	9,894.32
03.03.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	6,066.47	4.15	25,175.85
03.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS				22,989.57
03.04.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D160mm	m	69.48	172.01	11,951.25
03.04.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D200mm	m	18.00	201.32	3,623.76
03.04.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D250mm	m	36.00	205.96	7,414.56
04	TUBERIAS DE RECOLECCION				112,297.69
04.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				7,840.85

04.01.01	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	73.51	77.25	5,678.65
04.01.02	REFINE Y NIVELACION EN TERRENO NORMAL	m2	300.05	4.31	1,293.22
04.01.03	CAMA DE APOYO PARA TUBERIA CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	21.00	41.38	868.98
04.02	TUBERIAS				104,456.84
04.02.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D300mm	m	139.14	314.41	43,747.01
04.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D400mm	m	161.00	371.96	59,885.56
04.02.03	PRUEBA HIDRAULICA +ESCORRENT. TUBERIAS 300 MM.	m	139.14	2.58	358.98
04.02.04	PRUEBA HIDRAULICA +ESCORRENT. TUBERIAS 400 MM.	m	161.00	2.89	465.29
	COSTO DIRECTO				4,225,138.32
	GASTOS GENERALES (10%CD)				422,513.83
	UTILIDAD (5%CD)				211,256.92

	SUBTOTAL				4,858,909.07
	IMPUESTO (IGV 18%)				874,603.63
				=====	
	PRESUPUESTO TOTAL				5,733,512.70

SON : CINCO MILLONES SETECIENTOS TRENTITRES MIL QUINIENTOS DOCE Y 70/100 NUEVOS SOLES

Fuente: Propia

5.3.2. Laguna de estabilización con arcilla

El presupuesto de las lagunas con arcilla fue determinado bajo los siguientes parámetros:

- Partidas involucradas
- Metrado de cada partida.
- Precios unitarios de cada partida. Ver anexo 3
- Porcentajes de gastos generales
- El impuestos general a las vetas (I.G.V.)

Este presupuesto contempla las partidas de Impermeabilización con arcilla de talud y fondo de lagunas de estabilización (e=20cm) y Protección de piedra en taludes, incluye concreto ciclópeo.

Tabla 14: Presupuesto de la laguna de estabilización con arcilla

S10 Página 1

Presupuesto

Presupuesto **0801002 "COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE LAREDO"**

Subpresupuesto **001 LAGUNA DE ARCILLA**

Cliente **UPAO** Costo al **01/11/2016**

Lugar **LA LIBERTAD - TRUJILLO - LAREDO**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN				4,299,924.11
01.01	OBRAS PROVISIONALES				134.14
01.01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 m	m2	1.00	134.14	134.14
01.02	OBRAS PRELIMINARES				18,062.03
01.02.01	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	ha	7.11	2,540.37	18,062.03
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				4,281,727.94
01.03.01	EXCAVACION MASIVA PARA CONFORMACION DE TERRAPLEN Y TALUDES	m3	135,037.38	6.10	823,728.02
01.03.02	REFINE DE TALUD Y FONDO DE LAGUNA DE ESTABILIZACION	m2	86,481.31	4.31	372,734.45
01.03.03	IMPERMEABILIZACION CON ARCILLA DE TALUD Y FONDO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION (E=20cm)	m3	15,195.74	57.94	880,441.18
01.03.04	PROTECCION DE PIEDRA EN TALUDES, INCLUYE CONCRETO CICLOPEO	m2	4,270.45	133.44	569,848.85
01.03.05	RELLENO MASIVO P/FORMACION DE DIQUES INC. CARGUIO Y TRANSPORTE	m3	11,465.89	20.04	229,776.44
01.03.06	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (R=5KM)	m3	148,541.12	9.46	1,405,199.00

02	CAMARA DE REJAS, MEDIDOR DE CAUDAL , DESARENADOR, CANAL DE DISTRIBUCION Y REPARTIDORES				78,975.92
02.01	OBRAS PRELIMINARES				299.01
02.01.01	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	253.40	1.18	299.01
02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				18,148.82
02.02.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	304.38	42.17	12,835.70
02.02.02	REFINE Y NIVELACION EN TERRENO NORMAL	m2	281.51	4.31	1,213.31
02.02.03	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	12.07	77.25	932.41
02.02.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (R=5KM)	m3	334.82	9.46	3,167.40
02.03	CONCRETO SIMPLE				570.07
02.03.01	CONCRETO F'c=100KG/CM2 P/SOLADOS Y/O ZAPATAS (CEMENTO PII)	m3	2.10	271.46	570.07
02.04	CONCRETO ARMADO				57,582.60
02.04.01	CONCRETO f 'c=210 kg/cm2	m3	16.74	420.95	7,046.70
02.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	529.68	53.01	28,078.34
02.04.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	5,411.46	4.15	22,457.56
02.05	REJILLAS				1,183.06
02.05.01	REJILLA METALICA	u	1.00	586.53	586.53
02.05.02	REJILLA PARA CANAL BY PASS	u	1.00	596.53	596.53
02.06	COMPUERTAS				1,192.36
02.06.01	COMPUERTAS PLANCHA METALICA 1/8" DE 0.7x1.10	u	1.00	600.33	600.33
02.06.02	COMPUERTAS PLANCHA METALICA 1/8" DE 0.7x0.90	u	1.00	592.03	592.03
03	ESTRUCTURA DE ENTRADA Y SALIDA (LOSA Y COLUMNAS) E INTERCONEXIÓN				78,138.55
03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				2,199.59
03.01.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	52.16	42.17	2,199.59
03.02	CONCRETO SIMPLE				952.82
03.02.01	CONCRETO F'c=100KG/CM2 P/SOLADOS Y/O ZAPATAS (CEMENTO PII)	m3	3.51	271.46	952.82
03.03	CONCRETO ARMADO				51,996.57
03.03.01	CONCRETO f 'c=210 kg/cm2	m3	40.21	420.95	16,926.40
03.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	186.65	53.01	9,894.32
03.03.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	6,066.47	4.15	25,175.85
03.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS				22,989.57

03.04.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D160mm	m	69.48	172.01	11,951.25
03.04.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D200mm	m	18.00	201.32	3,623.76
03.04.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D250mm	m	36.00	205.96	7,414.56
04	TUBERIAS DE RECOLECCION				112,297.69
04.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				7,840.85
04.01.01	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	73.51	77.25	5,678.65
04.01.02	REFINE Y NIVELACION EN TERRENO NORMAL	m2	300.05	4.31	1,293.22
04.01.03	CAMA DE APOYO PARA TUBERIA CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	21.00	41.38	868.98
04.02	TUBERIAS				104,456.84
04.02.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D300mm	m	139.14	314.41	43,747.01
04.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D400mm	m	161.00	371.96	59,885.56
04.02.03	PRUEBA HIDRAULICA +ESCORRENT. TUBERIAS 300 MM.	m	139.14	2.58	358.98
04.02.04	PRUEBA HIDRAULICA +ESCORRENT. TUBERIAS 400 MM.	m	161.00	2.89	465.29
	COSTO DIRECTO				4,569,336.27
	GASTOS GENERALES (10%CD)				456,933.63
	UTILIDAD (5%CD)				228,466.81

	SUBTOTAL				5,254,736.71
	IMPUESTO (IGV 18%)				945,852.61
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				6,200,589.32

SON : SEIS MILLONES DOSCIENTOS MIL QUINIENTOS OCHENTINUEVE Y 32/100 NUEVOS SOLES

Fuente: Propia

5.4. Comparación técnica y económica

➤ Presupuesto de construcción

Después del desarrollo de metrados de las lagunas de estabilización se obtiene que el presupuesto total con geomembrana es de cinco millones setecientos treintitres mil quinientos doce y 70/100 nuevos soles, Ver tabla 15 y con recubrimiento de arcilla asciende a seis millones doscientos mil quinientos ochenta y nueve y 32/100 nuevos soles. Ver tabla 16

Tabla 15: Datos generales del presupuesto con geomembrana

S10 Página: 1

Datos Generales del Presupuesto

Obra	0801001	"COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DEL REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE LAREDO"		
Propietario	02100110	UPAO		
Lugar	130106	LA LIBERTAD - TRUJILLO - LAREDO		
Fecha	01/11/2016	Jornada	8.00 horas	
Moneda principal	01 NUEVOS SOLES			

	Presupuesto (S/.)	
Costo directo	4,225,138.32	0.00
Costo indirecto	1,508,374.38	0.00
Total	5,733,512.70	0.00

Subpresupuestos:				
Código	Descripción	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
001	LAGUNA CON GEOMEMBRANA	1.00	5,733,512.70	5,733,512.70

Fuente: Propia

Tabla 16: Datos generales del presupuesto con arcilla

S10 Página: 1

Datos Generales del Presupuesto

Obra	0801002	"COMPARACION TECNICA - ECONOMICA DEL REVESTIMIENTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL EMPLEO DE GEOMEMBRANAS Y ARCILLA DEL DISTRITO DE LAREDO"		
Propietario	02100110	UPAO		
Lugar	130106	LA LIBERTAD - TRUJILLO - LAREDO		
Fecha	01/11/2016	Jornada	8.00 horas	
Moneda principal	01 NUEVOS SOLES			

	Presupuesto (S/.)	
Costo directo	4,569,336.27	0.00
Costo indirecto	1,631,253.05	0.00
Total	6,200,589.32	0.00

Subpresupuestos:				
Código	Descripción	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
001	LAGUNA DE ARCILLA	1.00	6,200,589.32	6,200,589.32

Fuente: Propia

➤ **Presupuesto de mantenimiento y operación**

A continuación se brinda los costos de operación y mantenimiento anuales para la laguna de estabilización con geomembrana y arcilla.

Tabla 17: Resumen de costos de operación y mantenimiento de una laguna con geomembrana y arcilla

DESCRIPCIÓN	GEOMEMBRA (S/.)	ARCILLA (S/.)
Mano de obra	71100	76200
Materiales	3308.5	3977.51
Equipos de seguridad	1881.98	3117.4
Maquinaria y equipos	32083.23	32083.23
Reparaciones	1600	24936.07
TOTAL	109973.709	140314.21

Fuente: Propia

6. DISCUSION DE RESULTADOS

- Para el diseño de las lagunas de estabilización primarias facultativas y de maduración se utilizó los criterios de la norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales y del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS).
- Según estudios realizados por la CEPIS en diversas lagunas de estabilización, se tiene que para lagunas primarias a una temperatura de 20°C, existe una pérdida de un 4% del caudal que ingresa a la laguna, este fenómeno se debe a evaporación e infiltración, obteniendo un caudal del efluente de las lagunas primarias de 1996.72 m³/día, pero considerando los datos sacados del SENAMHI de evaporación y precipitación se obtiene un caudal de 2042.01 m³/día. Por lo que para el cálculo se considera más conveniente los datos obtenidos por SENAMHI por ser datos reales de la zona.
- Debido a la necesidad de tratar las aguas residuales para el reúso agrícola se propone un diseño de lagunas de estabilización en paralelo considerando tres lagunas primarias facultativas y tres lagunas de maduración, cumpliendo así con los niveles de calidad establecidos en la Norma OS.090.
- El proyecto elaborado propone la evaluación de costos de construcción, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización empleando los materiales de geomembrana y arcilla como recubrimiento.
- En el análisis de costos de mantenimiento se observa que las lagunas con material de geomembrana no necesita muchas reparaciones debido a sus propiedades de resistencia al rasgado (Anexo 1), en cambio las de arcilla necesitan un mantenimiento constante por el crecimiento de vegetación y erosión en taludes; además en la remoción de lodos las lagunas con recubrimiento de arcilla presentaran problemas por la adherencia entre lodos y la base de la laguna.

- La diferencia de costos se da en que para la construcción de lagunas con recubrimiento de geomembranas se necesita realizar el revestimiento de fondo de laguna con arcilla $e=10\text{cm}$ y suministro e instalación de geomembrana de PVC GI-T1-C2 $e=1.0\text{ mm.}$, en cambio para las lagunas con recubrimiento de arcilla se utilizan las partidas de impermeabilización con arcilla de talud y fondo de lagunas de estabilización ($e=20\text{cm}$) y protección de piedra en taludes, incluye concreto ciclópeo.

- Debido a que la diferencia de presupuesto de construcción es S/. 467,076.62 y el de mantenimiento anual es de S/. 30,340.50 menos, nos damos cuenta que el empleo de geomembranas en lagunas de estabilización es más viable para este proyecto.

7. CONCLUSIONES

- El diseño de las lagunas de estabilización del distrito de Laredo se ha considerado 3 lagunas en paralelo por la cantidad de carga orgánica que presenta para el año 2036, y para mayor facilidad de mantenimiento de las lagunas.
- El área calculada de las lagunas primarias facultativas es de 1.57 ha y el área de las lagunas de maduración es de 1.01 ha, se ha tomado dos dimensiones de lagunas primaria facultativas y dos de lagunas de maduración, debido a la forma del terreno consultada a la municipalidad de Laredo en donde se construirán dichas lagunas, por ello la laguna primaria facultativa 1 y de maduración 1 adoptadas en los planos (Anexo 4) son de otras dimensiones pero se respetó el área calculada.
- Las lagunas de estabilización constituyen un proceso eficiente de destrucción de organismos patógenos, por lo que en el tratamiento de las aguas residuales se obtuvo una eficiencia de remoción total de DBO del 90.15%, con una eficiencia de remoción total de coliformes fecales del 99%.
- Los costos de construcción de las lagunas de estabilización con recubrimiento de geomembrana es de cinco millones setecientos treintitres mil quinientos doce y 70/100 nuevos soles, por lo tanto son más baratos que los de arcilla que es de seis millones doscientos mil quinientos ochenta y nueve y 32/100 nuevos soles.
- Los costos de operación y mantenimiento anual de la laguna de estabilización con geomembrana es de S/.109,973.71 y los costos de la lagunas de estabilización de arcilla es de S/.140,314.21, debido a que en el de arcilla se necesita más mantenimiento y reposición de la arcilla en el fondo de las lagunas al momento de la remoción de lodos.
- El uso de geomembrana para las lagunas de estabilización son mejores que las de arcilla ya que es un material que presenta baja permeabilidad y una

excepcional resistencia a sustancias químicas así como a los rayos UV., también son resistentes a los ácidos, sales inorgánicas, ácidos orgánicos, alcoholes, éteres, hidrocarburos, acetonas, gases y aceites, además proveen una solución de larga duración, mayor durabilidad y más económica.

8. RECOMENDACIONES

- Si el volumen acumulado de lodos en el fondo de la laguna es igual o superior a $\frac{1}{3}$ del tirante normal de operación, se recomienda el desalojo de dicho lodo, posteriormente la reposición de la plantilla de arcilla o geomembrana del fondo de la laguna.
- Con respecto al mantenimiento y operación de las lagunas de estabilización con recubrimiento de arcilla, se recomienda la limpieza de los taludes que conforman las lagunas, para evitar el crecimiento de hierbas, para que no se perjudique el correcto funcionamiento de las lagunas de estabilización.
- En caso de que las estructuras de concreto de entrada, interconexión y salida sufran deterioro, se recomienda su reposición de inmediato; así mismo las válvulas de compuerta deberán conservarse en óptimas condiciones de operación (pintadas y lubricadas).
- Para tener costos con mejor precisión con respecto al mantenimiento de las lagunas se recomienda realizar un estudio más profundo para evaluar las reparaciones que se pueden presentar en el transcurso del tiempo, considerando las experiencias sobre el mantenimiento que se tiene en las lagunas de la provincia de Trujillo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a) DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE LOS ESTADOS UNIDOS. (1990). Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Limusa S.A.
- b) FERRER POLO, J., & SECO TORRECILLAS, A. (2008). Tratamiento biológico de aguas residuales. Mexico: Alfaomega.
- c) HENRY, J., & HEINKE, G. (1999). *Ingeniería Ambiental* (2da ed.). Mexico: Pearson.
- d) MENDONCA, S. R. (2000). *Sistema de Lagunas de Estabilización*. MCGRAW-HILL.
- e) NOYOLA, A., MORGAN SAGASTUME, J. M., & GÜERECA, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* (1ra Edición ed.).
- f) REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. (2009). *Norma OS.090 - Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*.
- g) ROMERO ROJAS, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización* (3ra Edición ed.). Alfaomega.
- h) ROMERO ROJAS, J. A. (2005). *Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales* (1ra Edición ed.). Alfaomega.
- i) RUBENS SETTE, R. D. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Reverté S.A.
- j) SÁENZ FORERO, R. (s.f.). *Consideraciones en relación con el uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales*. CEPIS. Perú.
- k) YANEZ COSSIO, F. (1984). *Reducción de organismos patógenos y diseño de lagunas de estabilización en países en desarrollo*. CEPIS/OPS/OMS. Chile.

ANEXOS

ANEXO 1: Características de geomembranas

Tabla 18: Especificaciones técnicas de polietileno de alta densidad.

GEOMEMBRANA LISA – POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD								
	PROPIEDADES	NORMA	UND	0.50mm	0.75mm	1mm	1.5mm	2mm
				(20mil)	(30mil)	(40mil)	(60mil)	(80mil)
PROPIEDADES MECANICAS	Resistencia en fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/ m	8,0	12,0	16,0	24,0	32,0
	Resistencia en rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/ m	14,0	21,0	28,0	42,0	56,0
	Elongación en fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
	Elongación en rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	700	700	700	700	700
	Resistencia al rasgado	ASTM-D 1004	N	67	101	135	203	270
	Resistencia al punzonamiento	ASTM-D 4833	N	160	268	357	536	714
	PROPIEDADES FISICAS	Espesor nominal	ASTM-D 5199	mm	0,50	0,75	1,00	1,50
Mínimo valor individual		ASTM-D 5199	mm	0,45	0,67	0,90	1,35	1,80
Densidad		ASTM-D 1505 ASTM-D 792	g/cm 3	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Contenido de negro de humo		ASTM-D 4218 ASTM-D 1603	%	2 a 3	2 a 3	2 a 3	2 a 3	2 a 3

Fuente: PORTALUPPI L., Información de geomembranas de PVC y HDPE. (En línea).

Consulta: 23de Octubre del 2016 (<http://criarpeces.com.ar/>)

**ANEXO 2: Análisis de precios unitarios de
las partidas para laguna de estabilización con
geomembrana**

**ANEXO 3: Análisis de precios unitarios de
las partidas para laguna de estabilización con
arcilla**

ANEXO 4: Planos