



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



Facultad de Ingeniería Civil

TÍTULO DE LA TESIS

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LAGUNAS
DE ESTABILIZACIÓN, PARA LA LOCALIDAD DE LOS LLANOS DE TEMALHUACÁN,
MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE ISIDORO MONTES DE OCA, GUERRERO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA :

ASLY MARTÍN CRUZ OLEA

ASESOR:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL AMIR RAMIRO GUZMÁN CHÁVEZ

Morelia Michoacán, Febrero 2016



Dedicatoria:

Este trabajo de tesis es el reflejo de un esfuerzo en conjunto de todas las personas y familiares que me rodearon y que día a día mostraron su confianza y apoyo. Principalmente va dedicado a las cuatro estrellas que tengo en el cielo; mi madre, mi abuela y mis dos abuelos, quienes antes de partir, cada uno de ellos aportó su granito de arena con sus consejos, pero sobre todo con sus ejemplos.

También va dedicado a todos mis amigos y amigas que estuvieron alentándome a no darme por vencido, a quienes de alguna u otra forma me mostraron que aunque la vida ponga dificultades, jamás debo darme por vencido.



Agradecimientos:

A Dios, por permitirme llegar hasta donde estoy, nunca dejarme solo y darme la fuerza necesaria para lograr levantarme cuando más lo necesitaba.

A mi madre Irasema Olea Orbe, quien fue la que me oriento y motivo a comenzar mi gran travesía de 5 años, y que aunque no estuvo conmigo físicamente, sé que ella jamás dejó de seguir mis pasos, siendo siempre mi motivo más importante para salir adelante y alcanzar todas mis metas.

A mi Padre Martín Cruz Rodríguez, porque no me alcanzara esta vida para agradecerle todo el apoyo que me ha dado, por siempre estar ahí cuando lo necesito y haber echo de mí un hombre de bien.

A mi hermana Imara Cruz Olea porque a pesar de las diferencias que llegamos a tener, siempre está al margen de lo que me ocurre, por darme la confianza y el apoyo necesario para poder llegar a cumplir esta meta.

A mis tíos y primos, por siempre estar al pendiente de cada paso que doy, por darme el gran ejemplo de lo que es ser una familia, por siempre alentarme a ser mejor en todo lo que hago y sobre todo por cada uno de los consejos que he recibido a lo largo de mi vida.

A mi abuela, María Paz Rodríguez Pérez quien me ha enseñado las bases necesaria para poder realizarme como persona adulta, a que una edad avanzada no es sinónimo de tristeza, a ser siempre fuerte a pesar de las adversidades y a que no hay nada material en este mundo, que valga el amor de la familia.

A mis amigos y profesores, en especial a mis tres amigos incondicionales Amirais, Alfonso y Edgar; quienes con su apoyo, consejos y paciencia logré sobrepasar obstáculos tanto escolares como personales, estoy seguro que sin ellos, mi paso por la universidad no habría tenido el mismo significado.

A mi amigo, profesor y asesor M.C. Amir Ramiro Guzmán Chávez, por la paciencia que me tuvo a lo largo de todo este trabajo de tesis, por todos sus conocimientos y consejos compartidos, pero sobre todo por ser una gran persona tanto dentro como fuera del aula de clases.

A la Facultad de Ingeniería Civil, por darme los recursos y herramientas necesarias para poder ser un profesionista competente.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por brindarme la oportunidad de cumplir uno de mis más grandes objetivos en la vida.



Contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVO	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES	3
3. ANTECEDENTES	4
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	4
3.1.1. CONTAMINANTES PRESENTES EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	7
3.2. NORMATIVIDAD EN MATERIA DE AGUA	14
3.2.1. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES.	14
3.2.2. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE SÓLIDOS Y BIOSÓLIDOS	19
3.3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN MÉXICO	21
3.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.	24
4. ESTUDIOS PRELIMINARES.....	26
4.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	26
4.2. MARCO FÍSICO	28
4.2.1. FLORA Y FAUNA.....	28
4.2.2. CLIMA	28
4.2.3. DEMOGRAFÍA DE LA LOCALIDAD	29
4.2.4. INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS DE LA COMUNIDAD	30
4.2.5. OROGRAFÍA E HIDROGRAFÍA.....	31
4.2.6. EDUCACIÓN, SALUD Y VIVIENDA.....	31
4.2.7. VÍAS DE COMUNICACIÓN	32
4.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LOCALIDAD EN ESTUDIO	33
4.4. POBLACIÓN PROYECTO	36
4.5. GASTOS DE DISEÑO	42
4.5.1. DOTACIÓN	42
4.6. TOPOGRAFÍA	48
5. DISEÑO DEL SISTEMA TRATAMIENTO	49
5.1. PRETRATAMIENTO	50



5.1.1. CRIBADO	50
5.1.2. DESARENADOR	51
5.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	53
5.2.1. TANQUE SÉPTICO	53
5.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	54
5.3.1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	54
5.4. TRATAMIENTO Terciario	55
5.4.1. LAGUNAS DE MADURACIÓN	55
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7. BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	63
ANEXO A	63
ANEXO B	82



RESUMEN

En la comunidad de “Los Llanos de Temalhuacán”, municipio de La unión, Guerrero, se tiene la necesidad de disminuir la cantidad de contaminantes presentes en el efluente de la red de alcantarillado sanitario y pluvial que está siendo vertido de manera inconsciente en el cuerpo de agua “Arroyo Grande”. Como propuesta de diseño para reducir la contaminación en el agua de la localidad, se presenta una planta de tratamiento de agua residual con base en lagunas de estabilización, esta cumple como una solución económica y funcional, sin descuidar el compromiso que se tiene respecto a la conservación del medio ambiente.

El diseño está constituido por una fase de cribado y desarenado, las cuales removerán materia de grandes dimensiones y partículas de material arenoso, un tanque séptico encargado de un porcentaje de reducción en las concentraciones de DBO_5 y sólidos suspendidos totales, dos lagunas de estabilización con las que por medio de microorganismos se logra la reducción total de materia orgánica y por ultimo dos lagunas de maduración que logran la eliminación de microorganismos patógenos, así como la clarificación de nuestro efluente.

Debido a los proceso que se llevan a cabo a lo largo de la planta de tratamiento, es posible obtener una descarga que cumple con los parámetros requeridos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Palabras clave: Contaminación, Agua residual, Lagunas de estabilización, Tratamiento y Descarga.

ABSTRACT

In the community of "Los Llanos de Temalhuacán", La Unión Township, Guerrero, you have the need to reduce the amount of contaminants present in the effluent from the sanitary and storm sewer being poured unconsciously in the body water "Arroyo Grande". As a design proposal to reduce pollution in water of the location, plant wastewater treatment based on stabilization ponds, it meets as an economic and functional solution, without neglecting the commitment we have with respect to the conservation of the presents ambient.

The design consists of a phase of screening and grit removal, which will remove matters large and particles of sand material, a septic tank in charge of a percentage reduction in the concentrations of BOD_5 and total suspended solids, two stabilization ponds with by microorganisms that the total reduction of organic matter is achieved and finally two lagoons maturation achieve the elimination of pathogens, as well as clarification of our effluent.

Because the process is carried out along the treatment plant, it is possible to obtain a download that meets required Mexican Official Standard NOM-003-SEMARNAT-1996 parameters, which establishes the maximum permissible levels of contaminants for treated wastewater that is reused in services to the public.



1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores indispensables para tener una adecuada protección de las fuentes de suministro de agua es contar con tecnologías que provean un tratamiento efectivo y adecuado al agua residual. Para generalizar esta práctica es necesario contar con los recursos económicos y humanos necesarios que, para la realidad de nuestro país, se traduce en implantar sistemas eficientes, poco mecanizados y de bajo costo de inversión y operación (CONAGUA, 2007).

México tiene un serio problema con el tratamiento de aguas residuales, del total de agua residual municipal (7410 hm³/Año) solo el 39.81% (2950 hm³) es tratada con base en datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014), esto quiere decir que el 60.19% de agua utilizada en el país se vierte directamente en cuerpos de agua, ocasionando graves problemas de salubridad a la comunidad y casos severos de contaminación al ecosistema, y que en su mayoría son irreversibles.

La búsqueda de la óptima explotación del recurso natural hídrico en nuestro país, ha tomado importancia fundamental en materia ambiental, actualmente nuestros recursos hídricos están siendo sustraídos sin tomar en cuenta la manera en que este es devuelto a la naturaleza. La propuesta principal se basa en empezar a mitigar el problema desde las zonas rurales que producen contaminantes provenientes de la agricultura, la ganadería y las viviendas, las cuales normalmente son los focos de contaminación más directos, ya que estos asentamientos suelen estar alrededor de lagos, en algún costado de un río o a lo largo de la costa, teniendo ahí sus descargas de forma directa, sin previo tratamiento del agua residual y por consiguiente incumpliendo las normas de CONAGUA que rigen este tipo de situaciones.

En el estado de Guerrero se tiene la ley de aguas para el estado libre y soberano con número 574, en la cual plasma la preocupación que se tiene respecto a la escasez cada día más frecuente del agua, y que obliga necesariamente a buscar soluciones que a través de mecanismos de planificación, autoricen incrementar la producción de agua mediante la utilización de nuevas tecnologías y potenciar la eficiencia en el empleo del agua, fomentando la educación en el buen uso del agua como un recurso vital y escaso e inculcando la cultura de cuidado y uso de este líquido en su preservación, reutilización y pago de los servicios públicos, aspectos esenciales para que nuestras plantas de tratamiento funcionen óptimamente.



2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la propuesta conceptual para el saneamiento de las descargas de aguas residuales de la localidad de “Los Llanos de Temalhuacán”, municipio de La Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Proponer un sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización acorde a las necesidades de la población, con base en un análisis técnico, que redunde en un proceso eficiente y óptimo para el saneamiento de las descargas de aguas residuales.
- Mitigar el impacto ambiental que producen las descargas de agua residual doméstica sin tratar en la región.



3. ANTECEDENTES

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tener conocimiento exacto de las características del agua residual es elemental para hacerle frente al proyecto y rendimiento de la infraestructura de tratamiento de las aguas residuales, esto debido a la progresiva importancia de la conservación de los recursos naturales.

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitaria (MARA, 1976)

El agua residual es una fusión de componentes químicos, físicos y biológicos, una mezcla de materiales inorgánicos y orgánicos, que se encuentran en un estado de disolución o suspendidos en agua, los materiales orgánicos principalmente son los residuos provenientes de los desechos alimenticios, las heces humanas, sales y grasas. Los materiales inorgánicos primordialmente están compuestos por los detergentes en polvo, detergentes líquidos y jabones sintéticos.

TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES (METCALF & EDDY, 1997).

CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
PROPIEDADES FÍSICAS	
COLOR	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
OLOR	Agua residual en descomposición, residuos industriales
SÓLIDOS	Agua de suministro, aguas residuales
TEMPERATURA	Aguas residuales domésticas e industriales
PROPIEDADES QUÍMICAS	
ORGÁNICOS: CARBOHIDRATOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
GRASAS ANIMALES, ACEITES Y GRASAS	Aguas residuales domésticas, comerciales



PESTICIDAS	Residuos agrícolas
FENOLES	Vertidos industriales
PROTEÍNAS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
CONTAMINANTES PRIORITARIOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
AGENTES TENSOACTIVOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
ALCALINIDAD	Aguas residuales domésticas, suministro, infiltración de agua subterránea.
CLORUROS	Aguas residuales domésticas e infiltración de agua subterránea
METALES PESADOS	Vertidos industriales
NITRÓGENO	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
PH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
FÓSFORO	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
CONTAMINANTES PRIORITARIOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
AZUFRE	Aguas de suministro; aguas residuales, domésticas, comerciales e industriales
GASES: SULFURO DE HIDRÓGENO	Descomposición de residuos domésticos
METANO	Cursos de agua y plantas de tratamiento



OXÍGENO	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS	
EUBACTERIAS	Aguas residuales domésticas, agua superficial y plantas de tratamiento
ARQUEOBACTERIAS	Aguas residuales domésticas, agua superficial y plantas de tratamiento
VIRUS	Aguas residuales domésticas
MATERIA ORGANICA BIODEGRADABLE	Carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas
PATÓGENOS	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual
SÓLIDOS INORGÁNICOS DISUELTOS	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

La manera en que las aguas residuales son clasificadas generalmente es por su origen, esto se debe a que resultan de la fusión del agua con los residuos sólidos que provienen de unidades habitacionales, oficinas, instituciones, edificios comerciales, industria y actividades agrícolas.

Con base en el libro de reutilización de agua de Montero, podemos clasificarla en:

Domésticas: utilizadas con fines higiénicos en baños, cocinas, lavanderías, etc. Son los residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Industriales: son líquidos generados en los procesos industriales, que poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.



Infiltración y caudal adicionales: Son las aguas de infiltración que penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc.

Pluviales: son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

3.1.1. CONTAMINANTES PRESENTES EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Las siguientes tablas nos muestran los contaminantes más significativos en el tratamiento del agua residual y el motivo por el que son considerados, así como sus consecuencias.

TABLA 3.2 CONTAMINANTES MÁS SIGNIFICATIVOS Y SU MOTIVO DE IMPORTANCIA (GRUPO DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 2012).

CONTAMINANTES	MOTIVO DE IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del Oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuesto orgánicos en inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de cancinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractarias	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales Pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos Inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.



TABLA 3.3 CONTAMINANTES, PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN, TIPO DE EFLUENTES Y CONSECUENCIAS DE LAS AGUAS RESIDUALES (GRUPO DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 2012).

CONTAMINANTES	PARÁMETRO DE CARACTERIZACIÓN	TIPO DE EFLUENTES	CONSECUENCIAS
Sólidos Suspendidos	Sólidos suspendidos totales	* Domésticos * Industriales	*Problema estéticos *Depósitos de barros *Adsorción de contaminantes *Protección de patógenos
Materia orgánica biodegradable	Aceites y grasas	*Domésticos * Industriales	Problemas estéticos
Microorganismos patógenos	DBO	* Domésticos * Industriales	Consumo de Oxígeno *Mortalidad de peces y condiciones sépticas
Nutrientes	Coliformes	* Domésticos	Enfermedades transmitidas por el agua
Contaminantes importantes	Nitrógeno Fósforo	* Domésticos * Industriales	Crecimiento excesivo de algas (eutrofización del cuerpo receptor) *Toxicidad para los peces(amonio) *Enfermedades en niños (nitratos) *Contaminación del agua subterránea
Materia orgánica refractarias	Pesticidas Detergentes Otros	* Industriales * Agrícolas	Toxicidad (varios) *Espumas (detergentes) Reducción de la transferencia de Oxígeno (detergentes) *No biodegradabilidad y malos olores
Metales Pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.)	* Industriales	*Toxicidad e Inhibición al tratamiento biológico de las aguas residuales y problemas con la disposición de los barros en la agricultura y contaminación del agua subterránea

PROPIEDADES FÍSICAS

COLOR:

Para la reseña de la caracterización del agua residual, en el pasado se utilizaba el término condición junto con la composición y la concentración, esto se basa en la edad del agua residual, que puede ser señalada específicamente por su color, teniendo esto en cuenta se dice que el agua residual joven, tiende a presentar un color grisáceo, sin embargo al aumentar el tiempo de traslado y al desenvolverse condiciones más próximas a las anaerobias, el agua residual tiende a cambiar gradualmente a un color grisáceo oscuro, para finalmente tornarse negra, cuando se llega a este punto, el agua residual toma el nombre de agua residual séptica.

Algunas aguas residuales industriales, llegan a tomar estos colores (gris, gris oscuro y negro) debido a la creación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales ya existentes en el agua residual.



OLOR:

El olor es uno de los principales factores de rechazo en los proyectos de obras de tratamiento de aguas residuales, esto debido a que la población tiene la idea de que a largo del tiempo esto se potencie, ocasionando problemas de salud en la población, lo que ha resultado en nuevas investigaciones sobre los efectos que producen, como detectarlos, como caracterizarlos y medirlos, esto teniendo en cuenta que hasta ahora la medición de olores es únicamente medible por medio del olfato, sin embargo se tienen aparatos que con en base en la detección de sulfuros se pueden tener ciertas referencias.

Los olores producen efectos nocivos en la población, en bajas concentraciones producen; un desarrollo anormal de la vida humana (tensión psicológica y predisposición a enfermedades), en medianas concentraciones; reducción de apetito, inducción a consumos menores de agua, producción de desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos, y crear perturbaciones mentales, en concentraciones extremas; deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar a la inversión de capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento.

Normalmente los olores son producidos debido a los gases que se producen debido a la descomposición de la materia orgánica, al inicio del proceso el agua residual tiene un aroma poco agradable pero tolerable, contrario al agua residual séptica, esto se debe a que en la séptica se encuentra el sulfuro de hidrógeno producido por la transformación de los sulfatos a sulfitos, por la acción de microorganismos anaerobios.

La siguiente tabla nos muestra los principales factores que debemos tener en cuenta para caracterizar un olor.

TABLA 3.4 FACTORES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA CARACTERIZACION DE OLORES (METCALF & EDDY, 1997)

FACTOR	DESCRIPCIÓN
CARACTER	Se refiere a asociaciones mentales hechas por el sujeto al percibir el olor. La determinación puede resultar muy subjetiva.
DETECTABILIDAD	El número de diluciones requerido para reducir un olor a su concentración de olor umbral mínimo detectable(CUOMD)
SENSACIÓN	La sensación de agrado o desagrado relativo del olor sentido por un sujeto.
INTENSIDAD	La fuerza en la percepción de olor; se suele medir con el olfatómetro de butanol o se calcula según el número de diluciones hasta el umbral de detección cuando la relación es conocida.



SÓLIDOS TOTALES:

Este término se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 grados Celsius, este engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y materia disuelta, estos sólidos totales pueden clasificarse en filtrables y no filtrables haciendo pasar un volumen de líquido por un filtro, la parte filtrable corresponderá a los sólidos coloidales y disueltos, ahora las categorías de sólidos que se han mencionado hasta ahora se pueden fraccionar en función de su volatilidad, esto se obtiene exponiendo la materia a 550+-°C, con esto la fracción orgánica se oxidará y la inorgánica quedará en forma de cenizas, de ahí los términos sólidos volátiles y sólidos fijos, para explicar mejor como se derivan los demás términos de los sólidos totales se muestra el siguiente diagrama.

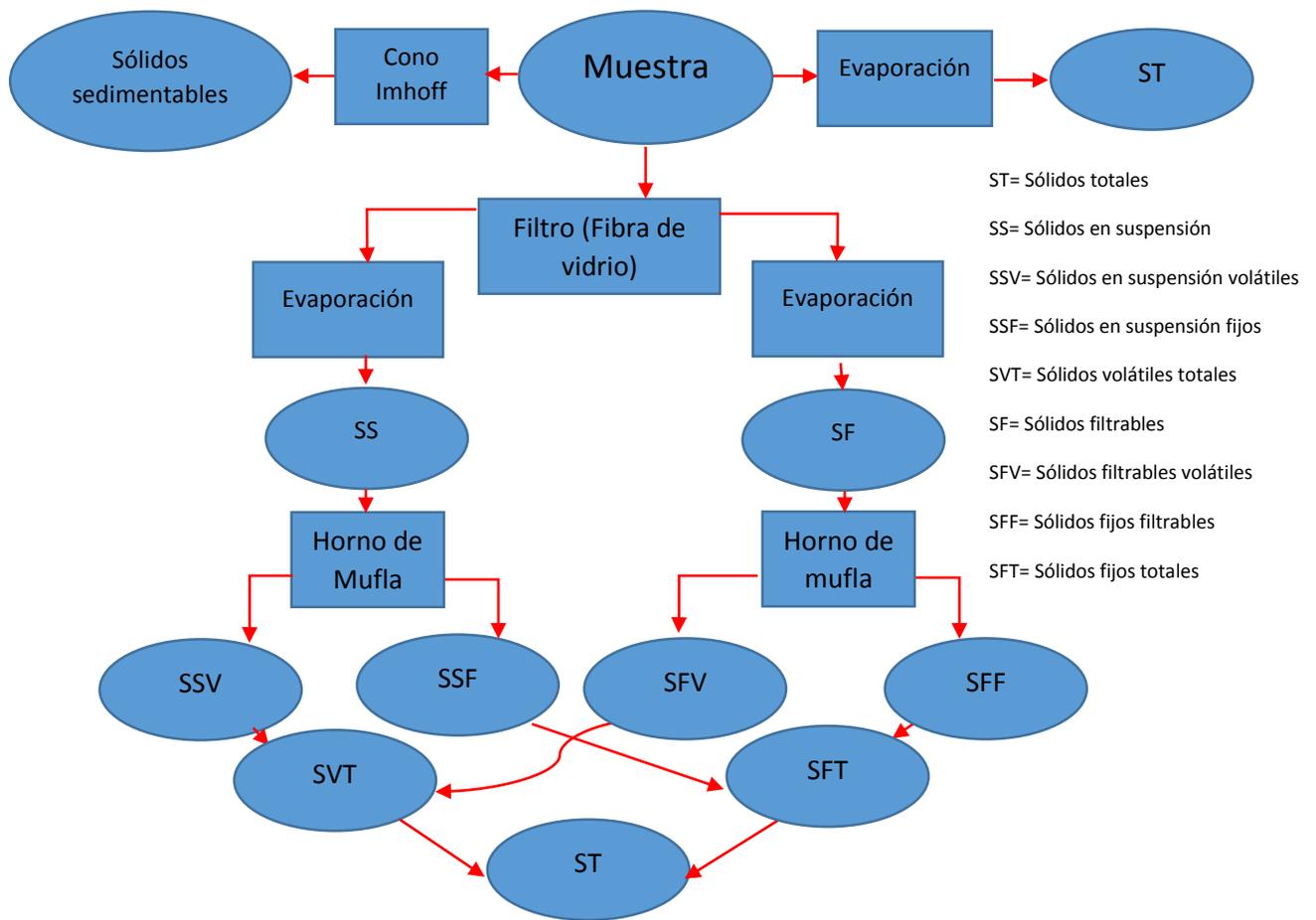


FIGURA 3.1 INTERRELACIÓN ENTRE LOS SÓLIDOS PRESENTES EN EL AGUA Y EN EL AGUA RESIDUAL (METCALF & EDDY, 1997)



TEMPERATURA:

La temperatura del agua residual, juega un papel muy importante según su influencia en el desarrollo de vida acuática, y de igual manera en las reacciones químicas y sus velocidades de reacción, esto se debe de tener muy presente, tomando en cuenta que el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría, en cualquiera de estas fronteras se debe tener mucho cuidado, y poseer el mayor control posible de la temperatura del agua residual que está siendo incorporada a los cuerpos de agua, el problema es muy simple, un aumento de temperatura combinado con la reducción de oxígeno presente en las aguas superficiales, conduce a un aumento en el índice de mortalidad de la vida acuática, y en forma equivalente la proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura ideal para el desarrollo de la actividad bacteriana se encuentra entre los 25 y los 35°C, en cuanto a temperaturas bajas se tiene conocimiento de que las bacterias productoras de metano cesan su actividad alrededor de los 15°C, las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza los 2°C, y si se alcanza los 2°C incluso las bacterias quimioheterótrofas, que son las que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar.

PROPIEDADES QUÍMICAS

METALES PESADOS:

Dentro de los metales pesados podemos encontrar una gran variedad, estos pueden llegar a ser desde altamente tóxicos hasta imprescindibles, los primeros en cantidades excesivas interferiría con un gran número de los usos del agua, y los segundos son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, y su ausencia de cantidades suficientes podrían limitar el crecimiento de algas, por eso se debe de tener un buen control y medición de estos, las cantidades de muchos de estos metales pesados pueden determinarse, a concentraciones muy bajas, utilizando métodos instrumentales entre los más utilizados, la polarografía y la espectroscopía de absorción atómica.

NITRÓGENO:

El nitrógeno en la mayoría de los casos es necesario para el control del crecimiento de algas en el cuerpo de agua receptor, y así preservar los usos a que se destina, esto se obtiene regulando la cantidad de nitrógeno contenido en el cuerpo de agua, el nitrógeno de igual manera es esencial para la síntesis de proteínas, por esto es de suma importancia conocer datos sobre su presencia y en qué cantidades, de esta manera se podrá optar por implementarlo en algún proceso de tratamiento de aguas residuales por medio biológico.



FÓSFORO:

El fósforo al igual que el nitrógeno es esencial para el desarrollo de algas y otros organismos biológicos, el limitar estos compuestos en los cuerpos de agua prevendría incontroladas proliferaciones de estos organismos, el fósforo se encuentra en distintas formas, las más comunes son: los ortofosfatos (esenciales para el metabolismo biológico), los polifosfatos y los fosfatos orgánicos, estos dos últimos son una conversión de los primeros por medio de digestión en medio ácido.

DBO₅:

Este es uno de los parámetros de contaminación orgánica más empleado, esta medición está directamente relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica, los resultados obtenidos son utilizados para:

- Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.
- Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

Un punto esencial para que esta prueba garantice resultados fiables, es preciso diluir convenientemente la muestra especialmente preparada, que nos asegure la disponibilidad de oxígeno y nutrientes necesarios durante el periodo de incubación.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Dentro de las más importantes están los microorganismos, estos se encuentran tanto en las aguas residuales como en las aguas superficiales, y están divididos en cuatro grupos: las eucariotas, las Eubacterias y las Arqueobacterias.

También existen los hongos, las algas, los protozoos y entre las más destacadas están las bacterias, su importancia radica en que estas son las encargadas de los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento, las bacterias también se dividen en cuatro grandes grupos: esferoidales (reciben el nombre de "cocos"), bastón (conocidas como bacilos), bastón curvado y filamentosas.

Por último están los virus, estos son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético-ácido desoxirribonucleico (ADN) Y ácido ribonucleico (RNA), estos representan un importante peligro para el ser humano, debido a que no tienen capacidad



para sintetizar compuestos nuevos, en lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que las acoge y redirigen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales, matando a las células originales, además de la gran cantidad de enfermedades que producen en las personas, a continuación se presentará una tabla que nos indica las repercusiones que los organismos ya mencionados producen en el cuerpo humano.

TABLA 3.5 AGENTES INFECCIOSOS POTENCIALMENTE PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL (METCALF & EDDY, 1997)

ORGANISMO	ENFERMEDAD	COMENTARIO
BACTERIAS		
Escherichia coli(enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarrea
Legionella pneumophila	Legionelosis	Enfermedades respiratorias gudas
Leptospira (150 esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre(enfermedad de Weil)
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado
Salmonella (1700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
Shigella (4 esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
Vibrio cholerae	Cólera	Diarreas fuertes, deshidratación
Yersinia enterolítica	Yersinosis	Diarrea
VIRUS		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias, Gastroenteritis, anomalías cardíacas,	
Enterovirus (67 tipos)	meningitis	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis, fiebre
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
Reovirus	Gastroenteritis	
Rotavirus	Gastroenteritis	
PROTOZOOS		
Balantidium coli	Balantidiasis	Diarrea, disentería
Cryptosporidium	Criptosporidiosis	Diarrea
Entamoeba histolytica	Amebiasis	Diarreas prolongadas con sangre
Giardia lamblia	Giardiasis	Diarreas, náuseas, indigestión
Helminths:		
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Infestación de gusanos
Enterobius vericularis	Enterobiasis	Gusanos
Fasciola hepática	Fasciolosis	Gusanos
Hymenolepis nana	Hymenlepiasis	Tenia enana
Taenia saginata	Teniasis	Tenia (buey)
T.solium	Teniasis	Tenia (cerdo)
Trichuris trichiura	Trichuriasis	Gusanos



Sin embargo también tienen otras funciones, en la siguiente tabla se muestra la manera en la que estos organismos son utilizados como parámetros para establecer criterios de calidad y aptitud de las aguas para usos determinados de las mismas.

TABLA 3.6 ORGANISMOS INDICADORES EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE RENDIMIENTO PARA DIFERENTES USOS DEL AGUA (METCALF & EDDY, 1997).

USOS DEL AGUA	ORGANISMO INDICADOR
Agua potable	Coliformes totales
Actividades lúdicas en agua dulce	Coliformes fecales E.coli Enterococos
Actividades lúdicas en agua salada	Coliformes fecales Coliformes totales Enterococos
Zonas de crecimiento de moluscos	Coliformes fecales Coliformes totales
Irrigación Agrícola	Coliformes totales (Agua reutilizada)
Desinfección de efluentes de aguas residuales	Coliformes fecales Coliformes totales

3.2. NORMATIVIDAD EN MATERIA DE AGUA

3.2.1. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES.

La normativa en materia de agua es un conjunto de normas que nos ofrecen parámetros que tenemos que cumplir a la hora de entregar el agua ya tratada, como ya se sabe las aguas residuales tratadas pueden ser destinadas al uso municipal directamente, vertidas a la red de alcantarillado municipal o depositadas en cuerpos de agua nacionales (ríos, lagos, mar, etc.) tomando siempre en cuenta la normatividad vigente, publicada por las autoridades competentes como la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) o la CONAGUA.

En el caso puntual del tratamiento de agua residual, tendremos que cumplir primordialmente con las NOM-001, NOM-002 Y NOM-003, estas presentan los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y las que se reúsen en servicios públicos respectivamente.



NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma oficial mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

Para definir la contaminación por patógenos se tendrá como parámetro a los coliformes fecales, el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Al determinar la inoculación por parásitos se tomará como guía los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Debido a la naturaleza de las aguas residuales, es necesario dar a conocer las recomendaciones que se nos da en esta norma, debido a las concentraciones de contaminantes tales como son; metales pesados y cianuros, las descargas a aguas y bienes nacionales no deben sobrepasar el valor indicado de límites máximos permisibles que se ven en las Tablas 3.7 y 3.8 que están dentro de esta norma, el rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.



TABLA 3.7 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A	N.A	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Material Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁵	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Ponderado (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006. P.D.= Promedio Diario; P.M.=Promedio Mensual; N.A. = No es aplicable. (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.



TABLA 3.8 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																					
PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO				
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)		
	P.M.	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	
Cianuros	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	1	2	
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1	
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4	
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.



NOM-002-SEMARNAT-1996

La Norma Oficial Mexicana dispone los límites máximos tolerables de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como preservar la infraestructura de dichos sistemas, y es de orden obligatorio para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean diferentes a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

En esta norma se muestra en forma de tabla los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, y no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 3.9.

TABLA 3.9 LÍMITES MÁXIMOS PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO Y MUNICIPAL.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO Y MUNICIPAL.			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales esta entre 10 y 5.5 unidades, para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El máximo permisible de temperatura es de 40 °C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permiten descargas con temperaturas más altas, siempre y



cuando el responsable demuestre a la autoridad por medio de un estudio fundamentado, que no ocasionara daño alguno al sistema local.

La materia flotante en la descarga de aguas residuales debe ser inexistente, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

NOM-003-SEMARNAT-1997

La Norma nos establece límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que tienen como fin ser usadas en servicios al público, esto con el propósito de cuidar el medio ambiente y la salud de los pobladores, y es de observancia obligatoria para los responsables de su tratamiento y reúso.

Se debe tener muy en cuenta los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas, siguiendo los lineamientos de la tabla 3.10, que se encuentra dentro de la norma oficial.

TABLA 3.10 LÍMITES MÁXIMOS PERMIIBLES DE CONTAMINANTES.

PROMEDIO MENSUAL					
TIPO DE REUSO	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

Para esta norma es esencial que se cumpla que no haya materia flotante en el agua residual tratada, también se hace énfasis en metales pesados y cianuros, que no deberán rebasar los límites permisibles de la tabla 6 que se puede encontrar en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3.2.2. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE SÓLIDOS Y BIOSÓLIDOS

NOM-004-SEMARNAT-2002

La norma nos decreta especificaciones y máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las pantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales,



con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

La persona física o moral encargada deberá llevar acabo la utilización o disposición final de lodos o biosólidos a los que esta norma se refiere, deberá obtener la constancia de “no peligrosidad”, de antemano estos lodos o biosólidos deben de cumplir con lo estipulado en la tabla 9 que se encuentra en la norma oficial.

Los productores de biosólidos tienen bajo su responsabilidad el control de la atracción de vectores, que demuestren su efectividad y se deberán guardar los registros del control, mínimo de los siguientes 5 años posteriores a su generación.

Los biosólidos se clasificaran en excelente y bueno dependiendo del contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C según su contenido de patógenos y parásitos según las tablas siguientes.

TABLA 3.11 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35



TABLA 3.12 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PATÓGENOS.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante
		<ul style="list-style-type: none"> • Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto público directo durante
		<ul style="list-style-type: none"> • Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales
		<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramientos de suelos
		<ul style="list-style-type: none"> • Usos agrícolas

3.3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN MÉXICO

El tratamiento de agua residual en México, ha pasado de ser objetivo secundario a ser un objetivo primordial. Con base en estadística del 2013 por parte de INEGI en materia de aguas residuales, se registró una cobertura nacional del 69.56%, de la información obtenida se tiene un registro de 2287 plantas en operación, tratando así 105.9 m³/s, esto indica que un 50.2% del total de agua recolectada de los sistemas de alcantarillado municipal, fueron tratadas.

La siguiente tabla es proporcionada por INEGI y contiene datos generales de la distribución de plantas de tratamiento de agua por región hidrológico-administrativa, con datos como su capacidad instalada y caudal potabilizado.



TABLA 3.13 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN OPERACIÓN HASTA EL 2013 (CONAGUA, ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2014).

CLAVE	RHA	NÚMERO DE PLANTAS EN OPERACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA (M ³ /S)	CAUDAL POTABILIZADO (M ³ /S)
I	Península de Baja California	63	9.25	6.52
II	Noroeste	102	5.54	3.75
III	Pacífico Norte	339	9.92	7.72
IV	Balsas	190	9.89	7.76
V	Pacífico Sur	88	4.65	3.74
VI	Río Bravo	227	33.86	23.02
VII	Cuencas Centrales del Norte	146	6.71	5.43
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	576	30.8	26.52
IX	Golfo Norte	94	5.63	4.27
X	Golfo Centro	147	7.2	5.59
XI	Frontera Sur	114	4.42	2.58
XII	Península de Yucatán	83	3.06	1.98
XIII	Aguas del Valle de México	118	12.27	2.05
	TOTAL	2287	152.17	105.93

En México la descarga es clasificada en municipal e industrial principalmente, las primeras son vertidas a redes de alcantarillado urbano y rural, mientras que las segundas se vierten directamente en los cuerpos de agua de propiedad nacional.

A continuación se muestra una tabla que nos permite observar el ciclo generación de aguas residuales-recolección y tratamiento en México, así como los principales procesos.

TABLA 3.14 DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y NO MUNICIPALES HASTA EL 2013 (CONAGUA, ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2014).

CENTROS URBANOS (DESCARGAS MUNICIPALES)	
➤	Aguas residuales 7.26 miles de hm ³ /año (230.2 m ³ /s)
➤	Se recolectan en alcantarillado 6.66 miles de hm ³ /año (211.1 m ³ /s)
➤	Se tratan 3.34 miles de hm ³ /año (105.9 m ³ /s)
➤	Se generan 1.96 millones de toneladas de DBO5 al año
➤	Se recolectan en alcantarillado 1.80 millones de toneladas de DBO5 al año
➤	Se remueven en los sistemas de tratamiento 0.73 millones de toneladas de DBO5 al año



USOS NO MUNICIPALES, INCLUYENDO A LA INDUSTRIA

- Aguas residuales 6.63 miles de hm³/año (210.26 m³/s)
- Se tratan 1.91 miles de hm³/año (60.72 m³/s)
- Se generan 9.95 millones de toneladas de DBO5 al año
- Se remueven en los sistemas de tratamiento 1.30 millones de toneladas de DBO5 al año

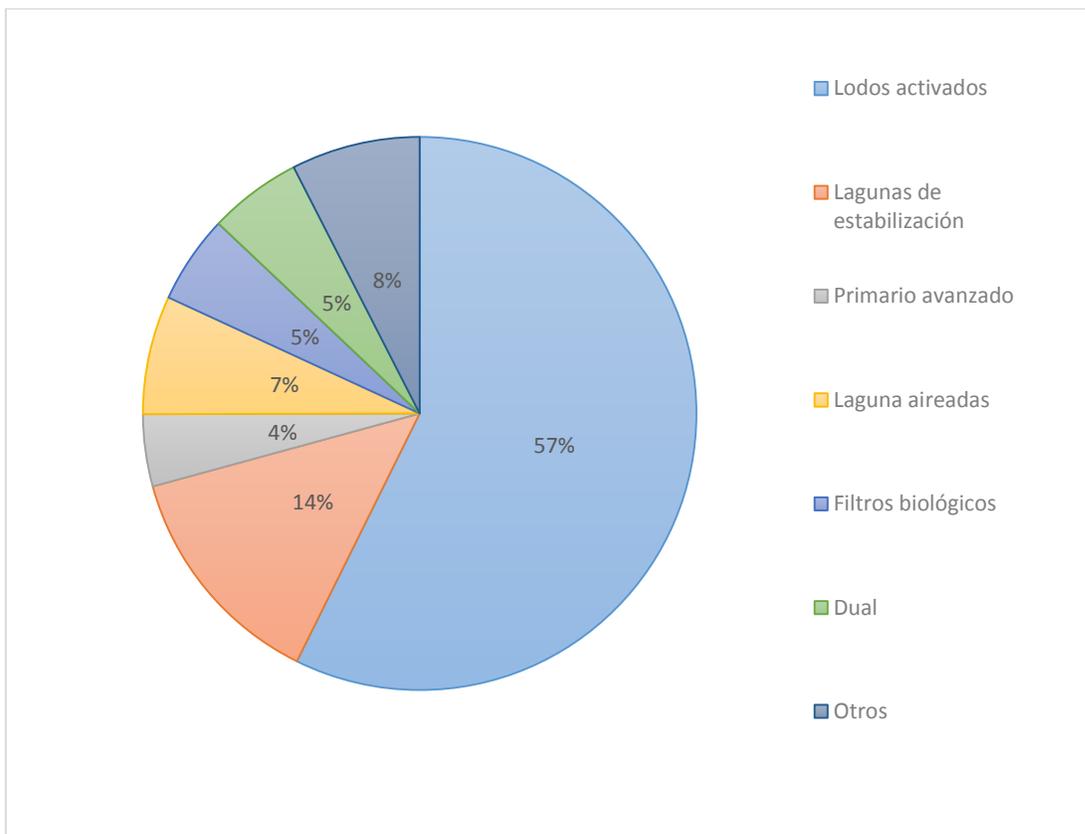


FIGURA 3.2 PRINCIPALES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES POR CAUDAL TRATADO, 2013 (CONAGUA, ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2014).

CONAGUA en el año 2013 consiguió un registro de 2617 plantas en operación, que a nivel nacional trataron 60.7 m³/s de aguas residuales, en su mayoría presentando un tratamiento secundario con el objetivo de remover materia orgánica coloidal y disuelta, en la siguiente tabla se muestran datos de los tipos de tratamiento y el total de plantas en operación en México en el mismo año.



TABLA 3.15 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN 2013 (CONAGUA, ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2014).

TIPO DE TRATAMIENTO	PROPÓSITO	NÚMERO DE PLANTAS	GASTO DE OPERACIÓN (M ³ /S)	PORCENTAJE
Primario	Ajustar el pH y quita materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión.	839	21.8	32.06
Secundario	Remover materiales orgánicos coloidales y disueltos.	1555	34.8	59.42
Terciario	Remover materiales disueltos incluye gases, sustancias orgánicas, bacterias y virus.	74	1.2	2.83
N/E		149	3	5.69
TOTAL		2617	60.7	100

3.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento para aguas residuales en las cuales, mediante la acción conjunta de algas, bacterias y otros organismos, se logra la estabilización biológica de materia orgánica biodegradable presente.

Los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización en forma sintetizada son (CONAGUA, 2007):

- Es un proceso natural de autodepuración
- La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos superiores.
- Se presentan, procesos físicos de remoción de materia suspendida.
- Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas, residuales. Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran y se pueden proyectar como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua residual.

Se debe entender que las lagunas son ecosistemas acuáticos compuestos por:

- Productores: Algas
- Consumidores: Protozoarios rotíferos, larvas e insectos.
- Depredadores: Bacterias y hongos.



Al existir una cadena trópica, unos organismos se alimentan de otros, ocurriendo así un transporte de energía, de modo que tanto las bacterias como las algas existen en las lagunas dependiendo unas de otras. Las bacterias utilizan oxígeno disuelto producido por las algas y estas utilizan el carbono (CO_2) de la actividad bacteriana para la producción de nuevas algas.

Las lagunas se pueden clasificar con base en varias características

De acuerdo a su régimen de flujo, los sistemas pueden ser:

- Flujo pistón: Sucede cuando la dispersión de contaminantes es muy pequeña menor o igual a 0.2, esto se cumple cuando la relación largo/ancho es igual o mayor a 3 y es el tipo de flujo que presenta mayor eficiencia de remoción de contaminantes.
- Mezcla completa: Cuando la dispersión en una laguna es muy grande (mayor o igual a 10), esto ocurre cuando la relación largo/ancho es menor a 1 (se considera el largo de la laguna la longitud del sentido del flujo). La concentración de contaminantes en este tipo de lagunas es homogénea en todo el estanque.
- Flujo disperso: La dispersión está entre 0.2 y 1, la relación largo/ancho en estas lagunas es de 1 a 3.

De acuerdo al contenido de oxígeno:

- Aerobias: Al tener mayor contacto los lodos con el agua a depurar, el proceso es más eficiente y se requiere de menor tiempo de residencia para lograr una disminución significativa de la demanda bioquímica de oxígeno.
- Facultativas: Las lagunas facultativas son la variación más importante en la depuración de aguas residuales en este tipo de tratamiento. Una laguna facultativa típicamente maneja cargas orgánicas de entre 55 y 200 Kg DBO/día por hectárea de terreno, con un tiempo de retención de entre 5 y 30 días. La profundidad de la laguna es de 1.2 a 2.5 mts. En este tipo de lagunas facultativas se tienen varias capas o zonas en las cuales se tienen condiciones aerobias, facultativas y anaerobias.
- Anaerobias: En este tipo de lagunas, el material orgánico suspendido sedimenta en el fondo del recipiente y se descompone anaeróbicamente formando inicialmente ácidos orgánicos y posteriormente la digestión en condiciones de anaerobiosis conduce a la descomposición de dichos ácidos volátiles orgánicos a bióxido de carbono y metano principalmente.

De acuerdo al modelo de operación:

- Lagunas en paralelo: Cuando cada laguna recibe una parte proporcional del afluente.
- Lagunas en serie: Cuando una laguna recibe el efluente de la laguna que le precede.
- Lagunas con circulación del efluente, para operaciones en serie o en paralelo.



De acuerdo a su ubicación:

- Primarias o de aguas residuales crudas.
- Secundarias (reciben efluentes de otros procesos de tratamiento)
- De maduración (Si su finalidad es reducir el número de organismos patógenos o su empleo en cultivos de algas).

Las lagunas de estabilización son una opción económica en la remoción de patógenos y huevos de helmintos, que no se encuentra en tradicionales sistemas de tratamiento, otra de las características es que en esta variable no es necesaria una desinfección del efluente con base en cloro, reflejándose un ahorro instantáneo en los costos de adquisición, operación y mantenimiento. Pueden ser utilizadas como tratamiento único o ser parte de otras etapas de tratamiento (primario, secundario o terciario).

4. ESTUDIOS PRELIMINARES

4.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los Llanos de Temalhuacán se encuentra situado en el municipio de La Unión de Isidoro Montes de Oca al poniente del estado de Guerrero en la región geoeconómica de la Costa Grande; colinda con el estado de Michoacán y se sitúa en las coordenadas geográficas $18^{\circ}91'$ y $18^{\circ}33'$ latitud norte y de los $101^{\circ}27'$ y $101^{\circ}44'$ de longitud oeste. Posee una extensión territorial de 1,142 kilómetros cuadrados en su superficie que representa un 1.79% respecto a la superficie total de la entidad. Limita al norte con el municipio de Coahuayutla de José María Izazaga y el estado de Michoacán, al sur con el Océano Pacífico, al este con el municipio de Zihuatanejo de Azueta y al oeste con el estado de Michoacán, en las siguientes figuras se muestra de manera gráfica la ubicación.

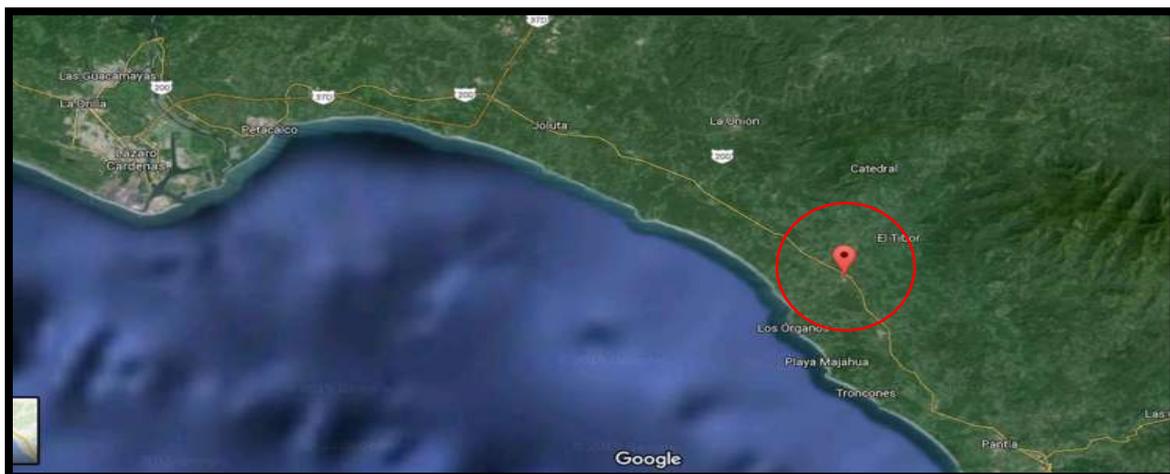


FIGURA 4.1 LOCALIZACIÓN SATELITAL DE LOS LLANOS DE TEMALHUACAN (GOOGLE 2015 "ACERCAMIENTO A 5KM").

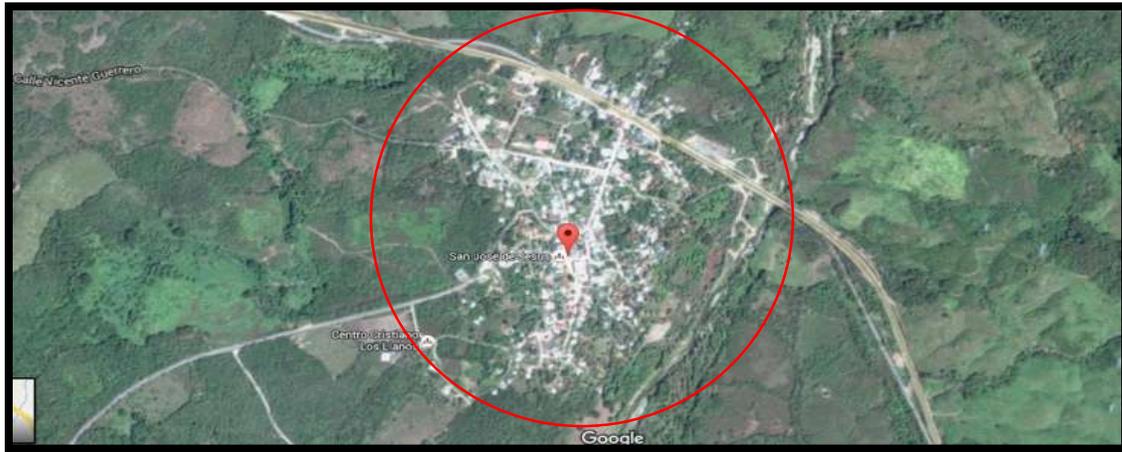


FIGURA 4.2 LOCALIZACIÓN SATELITAL DE LOS LLANOS DE TEMALHUACAN (GOOGLE 2015 "ACERCAMIENTO A 200M").

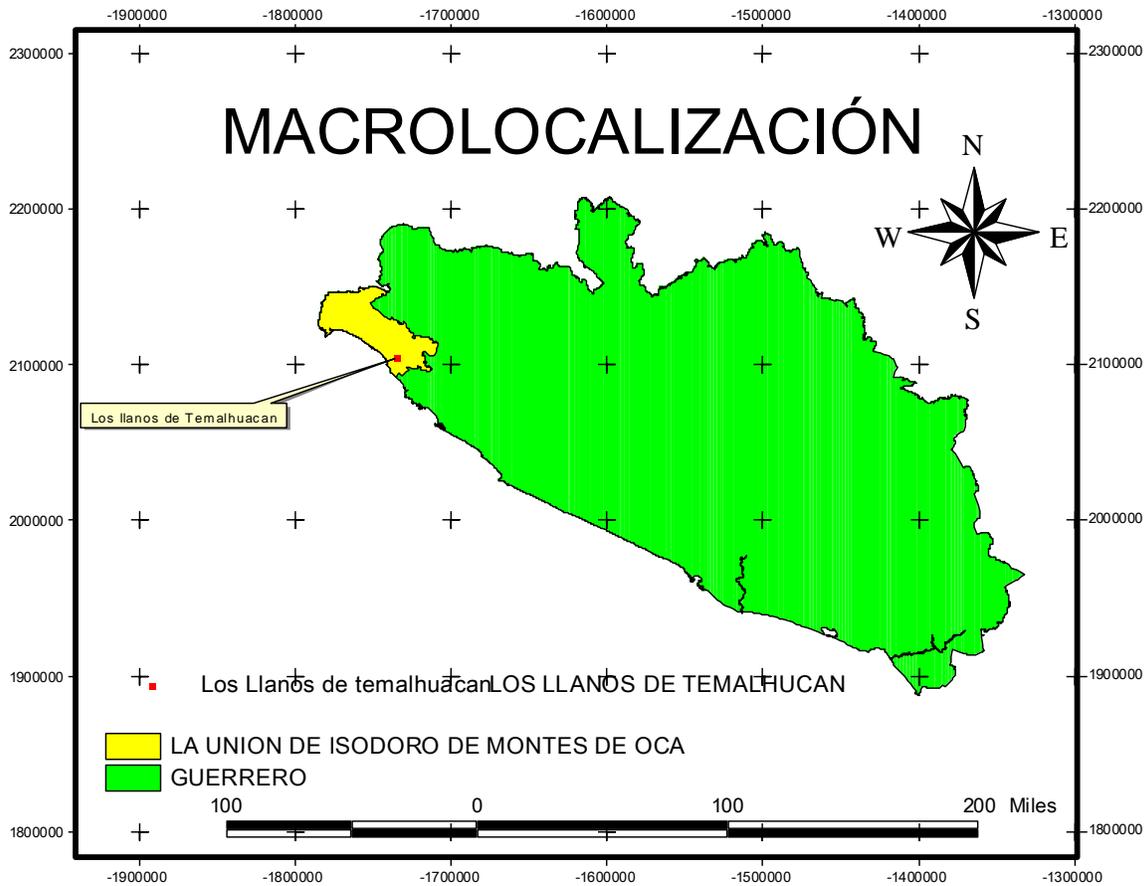


FIGURA 4.3 MACROLOCALIZACIÓN DE LOS LLANOS DE TEMALHUACAN (ARCVIEW GIS 3.2).

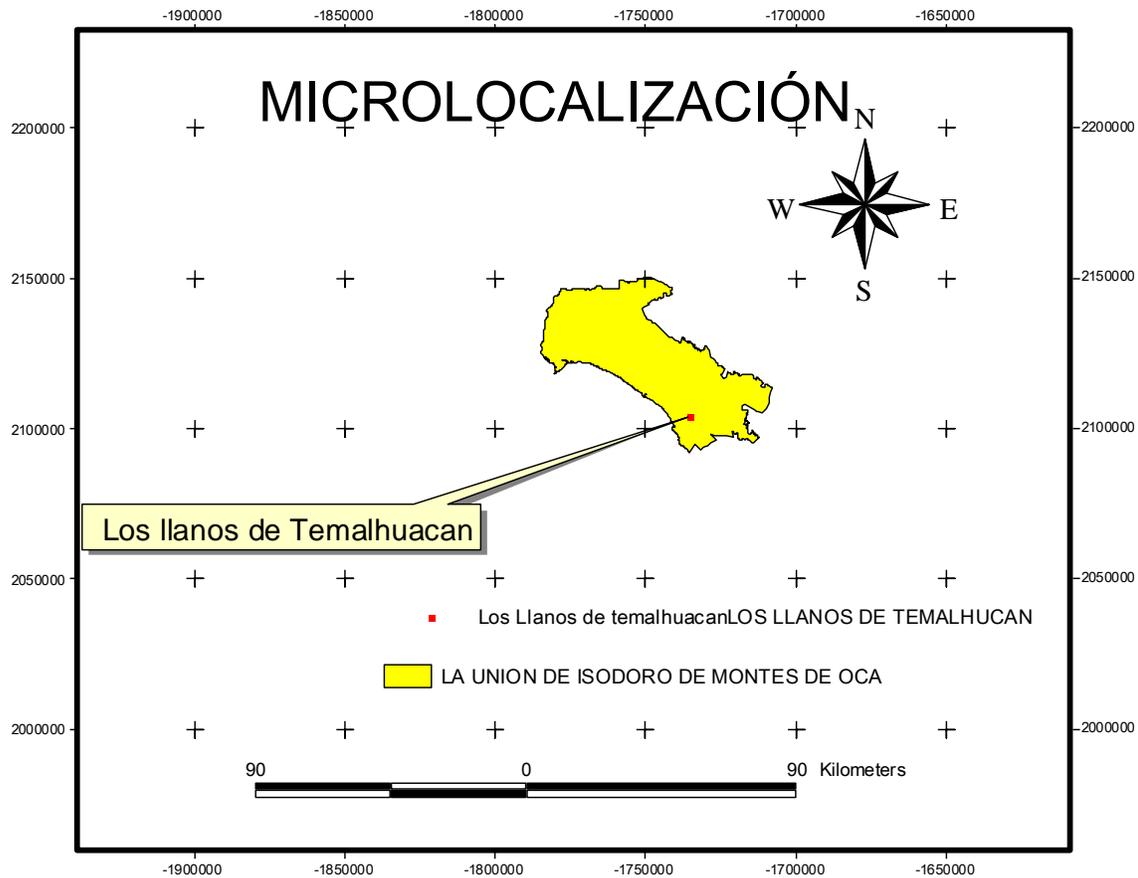


FIGURA 4.4 MICROLOCALIZACIÓN DE LOS LLANOS DE TEMALHUACAN (ARCVIEW).

4.2. MARCO FÍSICO

4.2.1. FLORA Y FAUNA

En la comunidad de Los Llanos la flora concurrente es de tipo selva baja caducifolia y la mesofila, así como plantas del género cysuloma en las especies behemesis, entre la fauna predominante del lugar, se encuentra distintos tipos de especies como la iguana, garza, la ardilla, culebras de cascabel, entre otros más.

4.2.2. CLIMA

En la localidad de los Llanos de Temalhuacán predomina un clima Cálido-Subhúmedo con lluvias en verano y su temperatura media anual oscila entre los 26° y 28°C, en la siguiente figura se puede observar los climas que prevalecen en el estado.

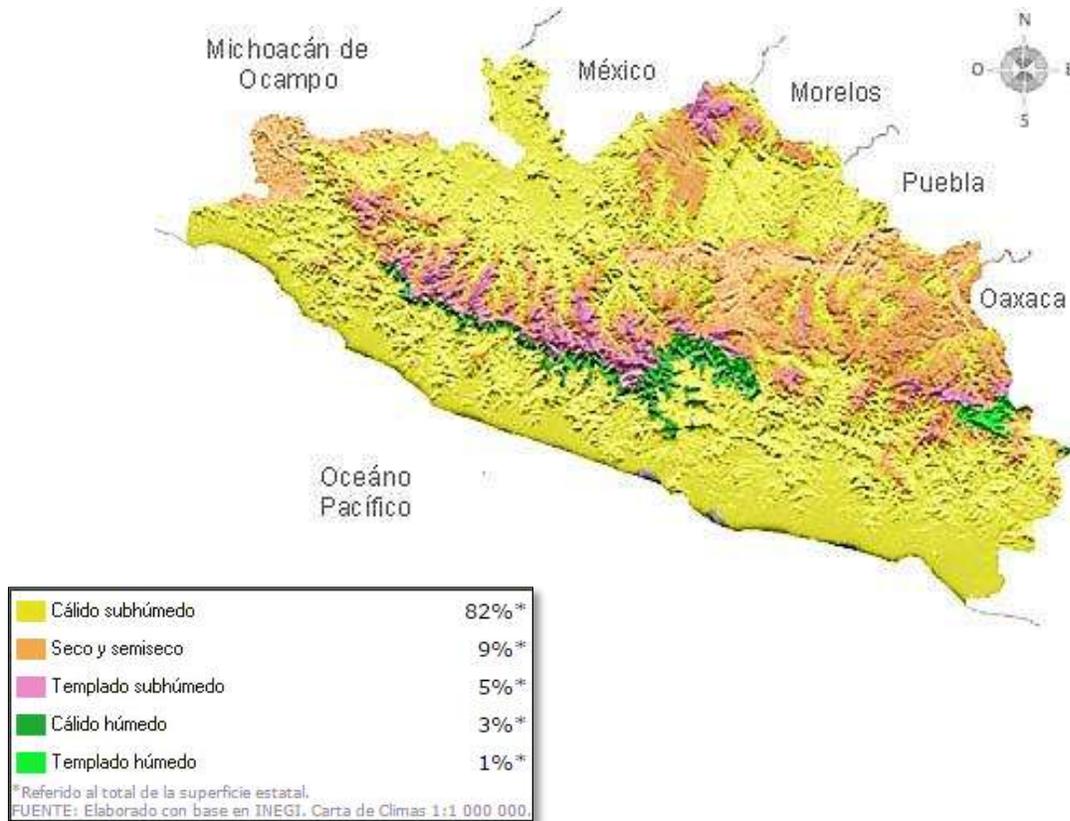


FIGURA 4.5 MAPA CLIMATOLÓGICO DEL ESTADO DE GUERRERO (INEGI 2010).

4.2.3. DEMOGRAFÍA DE LA LOCALIDAD

Las tablas 4.1 y 4.2 nos arrojan datos actuales sobre la situación poblacional que se registra en la localidad, útiles para la proyección de la población así como datos más puntuales como la cantidad de población femenina, masculina y la media de habitantes por vivienda.

TABLA 4.1 POBLACIÓN TOTAL, MASCULINA, FEMENINA Y PROMEDIO DE OCUPANTES (INEGI 2010).

CLAVE DE MPIO.	NOMBRE DEL MPIO.	CLAVE DE LOC.	LOCALIDAD	P T.	P M.	P F.	PROMEDIO DE OCUPANTES EN VIVIENDAS
068	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0047	Los Llanos de Temalhuacán (Los Llanos)	889	459	430	3.78



TABLA 4.2 TABLA DE CENSO POBLACIONAL DESDE 1900 – 2010 (INEGI).

NOMBRE DE LA LOCALIDAD	NOMBRE DEL MUNICIPIO	AÑO	FUENTE	TOTAL HABITANTES
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1900	Censo	40
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1910	Censo	51
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1921	Censo	15
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1930	Censo	76
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1940	Censo	79
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1950	Censo	131
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1960	Censo	171
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1970	Censo	438
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1980	Censo	427
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1990	Censo	833
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1995	Conteo	885
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	2000	Censo	761
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	2005	Conteo	823
Los Llanos de Temalhuacán	La Unión de Isidoro Montes de Oca	2010	Censo	889

4.2.4. INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS DE LA COMUNIDAD

En la localidad existe un alto índice de marginación, respecto a la cabecera municipal, ya que no se tiene muy claro el plan de desarrollo para el lugar, y se padece la falta de algunos servicios tales como; la red de alcantarillado sanitario, internet y teléfono fijo, existiendo únicamente; el servicio de luz, agua potable (proveniente de un pozo profundo), telecable satelital y el servicio de recolección de basura así como su depósito al basurero designado por la junta local de Los Llanos de Temalhuacán.

4.2.5. OROGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

En la comunidad y sus alrededores, predomina un relieve plano con pendientes menores al 5%. La localidad se encuentra en la región hidrográfica de la Costa Grande, donde el río “La Unión” es el de mayor importancia en el municipio y está ubicado al norte de la comunidad, al igual que el arroyo “Chutla”, a un costado del “Arroyo Grande” y más al sur el “Arroyo El Salado”, todos estos desembocando en el Océano Pacífico.

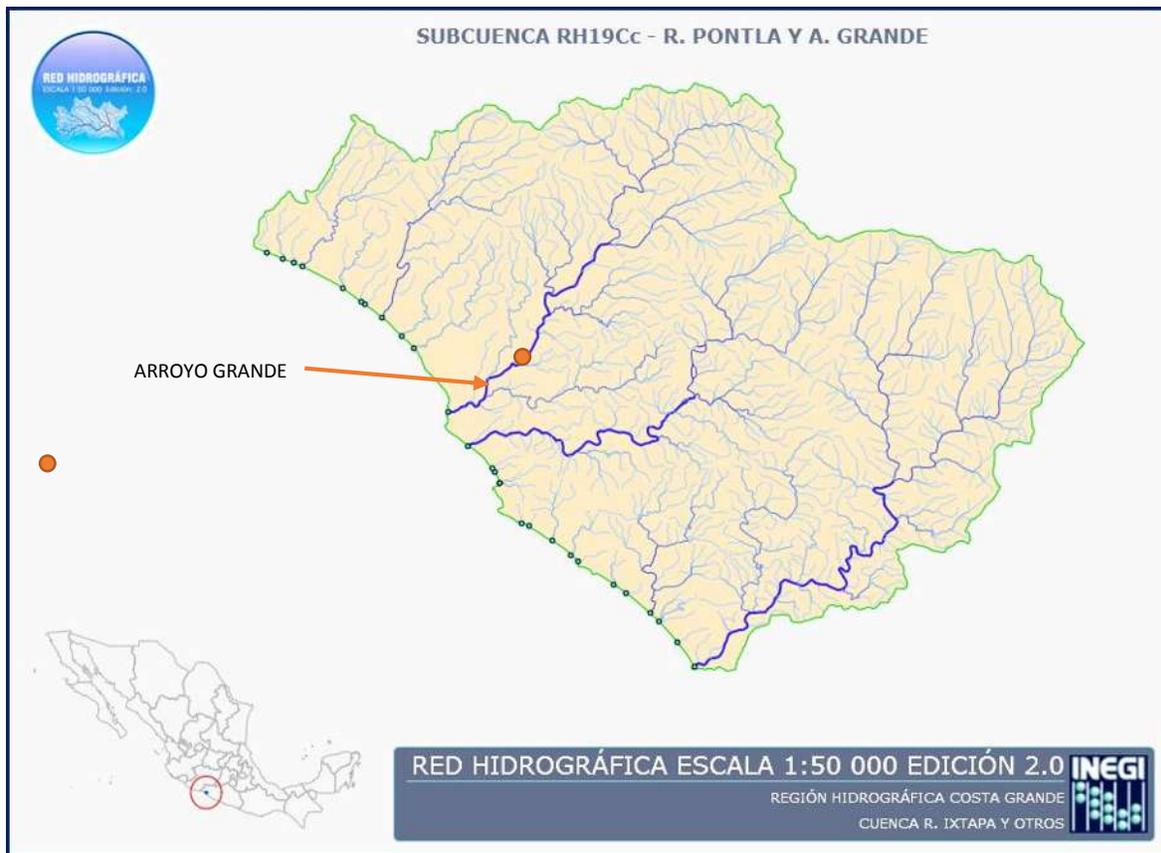


FIGURA 4.6 RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA R. IXTAPA Y OTROS. (INEGI 2010)

4.2.6. EDUCACIÓN, SALUD Y VIVIENDA

En la población, se cuenta con la educación preescolar, primaria y secundaria, faltando la educación media superior y la superior, por lo que la población tiene que acudir a otros municipios, siendo el de Zihuatanejo de Azueta el más recurrido, donde se encuentran 5 preparatorias, 4 universidades privadas y un tecnológico, las cuales son las opciones más



viables para la población que desea continuar con sus estudios. En la tabla 4.4 se muestra estadística sobre el nivel de educación de la población en distintas edades y niveles.

Se cuenta con un centro de salud otorgado por la Secretaria de salud de México y es de resaltar que no toda la población es derechohabiente de este servicio, como se muestra en la tabla 4.3.

TABLA 4.3 POBLACIÓN CON Y SIN SERVICIOS DE SALUD. (INEGI 2010).

POBLACIÓN SIN SERVICIOS DE SALUD	POBLACIÓN CON SERVICIOS DE SALUD
424	465

TABLA 4.4 ESTADÍSTICA POBLACIONAL CON RESPECTO A EDUCACIÓN. (INEGI 2010)

NOMBRE DE LA LOCALIDAD	POBL. DE 6 A 11 AÑOS QUE NO ASISTE A LA ESCUELA	POBL. DE 12 A 14 AÑOS QUE NO ASISTE A LA ESCUELA	POBL. DE 15 A 17 AÑOS QUE ASISTE A LA ESCUELA	POBL. DE 18 A 24 AÑOS QUE ASISTE A LA ESCUELA	POBL. DE 8 A 14 AÑOS QUE NO SABEN LEER Y ESCRIBIR	POBLACIÓN DE 15 AÑOS Y MÁS ANALFABETA	POBLACIÓN DE 15 AÑOS Y MÁS SIN ESCOLARIDAD	GRADO PROMEDIO DE ESCOLARIDAD
Los Llanos de Temalhuacán (Los Llanos)	5	5	17	15	7	125	159	5.7

En materia vivienda se tienen estadísticas hasta el 2010 otorgada por el INEGI de 272 viviendas, en las que como se muestra en la tabla 4.5, se tiene ya un resultado de promedio de ocupantes por vivienda, respecto a la población total.

TABLA 4.5 PROMEDIO DE OCUPANTES, TOTAL DE VIVIENDAS Y EL INTEGRO DE LAS HABITADAS. (INEGI 2010)

NOMBRE DE LA LOCALIDAD	POBLACIÓN TOTAL	PROMEDIO DE OCUPANTES EN VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS	TOTAL DE VIVIENDAS	TOTAL DE VIVIENDAS HABITADAS
Los Llanos de Temalhuacán	889	3.78	272	235

4.2.7. VÍAS DE COMUNICACIÓN

Los comunidad cuenta con 2 vías de comunicación, por las que se puede acceder, la primera es por medio de una pequeña desviación sobre la carretera nacional 200, en el tramo Manzanillo-Zihuatanejo sobre el Km 40 y el Km 30, y la segunda es otro camino que comunica el poblado de “Los llanos”, con una pequeña comunidad costera llamada “La saladita”, la que por medio marítimo se comunica con el puerto de “Lázaro Cárdenas”, la carretera nacional logra comunicar al poblado de los Llanos de Temalhuacán, con el puerto de Zihuatanejo al sur y al norte con la frontera entre los estados de Guerrero y Michoacán.



4.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LOCALIDAD EN ESTUDIO

Debido a la falta de un sistema de alcantarillado en la localidad, para conducir las aguas residuales que provienen principalmente de los sanitarios y cocinas, fue necesario para el diseño de la PTAR, tomar en cuenta los valores de composición establecidos en las tablas que se muestran a continuación:

TABLA 4.6 COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS CRUDAS DE ORIGEN DOMÉSTICO.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos Totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (ml/L)	20	10	5
DBO (a 20 °C)	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosfatos (como P) :	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánicos	10	5	3
Clorados ^b	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas y aceites	150	100	50

a Unidades en mg/L, excepto los sólidos sedimentables

b Valor que deber ser incrementado de acuerdo con la cantidad de suministro de agua.

Referencia: Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. Mc Graw.Hill, Inc. 4ta edición, 2004



TABLA 4.7 CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES POR TAMAÑO DE POBLACIÓN

PARÁMETRO	TAMAÑO DE POBLACIÓN (Nº DE HABITANTES)				
	2,500 A 10,000	10,001 A 20,000	20,001 A 50,000	50,001 A 100,000	PROM.
pH	7.4	6.9	6.9	7.3	7.1
Temperatura (° C)	25	20	23	22	23
DBO	264	299	254	301	280
DQO	698	719	609	430	614
Sólidos Sedimentables (ml/L)	9	5	8	3	6
Grasas y Aceites	56	44	65	96	65
N-NH ₃	24	28	14	12	20
N – Orgánico	18	23	23	9	18
N – Total	37	44	30	24	34
Fosfatos Totales	20	24	16	29	22
SAAM	14	11	17	17	15
Coliformes Tot. (NMP/100 ml)	7	773	14	107	225
Sólidos:					
Totales	1552	1141	1391	932	1254
Totales Suspendidos	286	309	233	167	249
Totales Disueltos	1266	832	1158	765	1005
Totales Volátiles	737	871	449	349	602
Volátiles Suspendidos	223	192	151	139	176
Volátiles Disueltos	514	379	298	210	350
Totales Fijos	815	570	942	583	728
Fijos Suspendidos	116	145	183	58	126
Fijos Disueltos	699	425	759	525	602

Unidades en mg/L, excepto que se indique de otra forma.

Referencia: Secretaría de Recursos Hidráulicos, "Sistemas Económicos de Tratamiento de Aguas Residuales Adecuados a las Condiciones Nacionales", México, .D.F., enero de 1975.

- La DBO5 Total a una concentración media es de 220 mg/L; por promedio es de 274 mg/L y por tamaño de población (de 2 500 a 10 000 hab.) es de 264 mg/L. El promedio de estos criterios sería de 252.66 mg/L.
- El Nitrógeno Total a una concentración media es de 40 mg/L y por tamaño de población es de 37 mg/L. Siendo el promedio de estos criterios 38.5 mg/L.
- El Fósforo Total a una concentración media es de 8 mg/L y por tamaño de población es de 20 mg/L. El promedio de estos criterios sería de 14 mg/L.
- Las Grasas y Aceites a una concentración media son de 100 mg/L; por tamaño de población es de 56 mg/L y por promedio es de 60 mg/L. El promedio de estos criterios sería de 72 mg/L.



- Los Sólidos Totales a una concentración media son de 720 mg/L; por tamaño de población son de 1 552 mg/L y por promedio son de 1 370 mg/L. El promedio de estos criterios es de 1214 mg/L.
- Los Sólidos Suspendidos Totales a una concentración media son de 220 mg/L; por tamaño de población son de 286 mg/L y por promedio son de 260 mg/L. El promedio de estos criterios es de 255.33 mg/L.
- Los Sólidos Suspendidos Volátiles a una concentración media son de 165 mg/L y por tamaño de población son de 223 mg/L. El promedio de estos criterios es de 194 mg/L.
- Los Sólidos Sedimentables a una concentración media son de 10 ml/L; por tamaño de población son de 9 ml/L y por promedio son de 7 ml/L. El promedio de estos criterios es de 8.67 mg/L.
- La concentración de Coliformes Fecales será de 1.6×10^{09} NMP/100 mL.

Con base en lo anterior, los valores para el diseño de la PTAR son:

DBO ₅ Total	= 252.66 mg/L
Nitrógeno Total	= 38.50 mg/L
Fósforo Total	= 14 mg/L
Grasas y Aceites	= 72 mg/L
Sólidos Totales	= 1214 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	= 255.33 mg/L
Sólidos Suspendidos Volátiles	= 194 mg/L
Sólidos Sedimentables	= 7 ml/L
Coliformes Fecales	= 1.6×10^{09} NMP/100 mL.



4.4. POBLACIÓN PROYECTO

Para el cálculo de nuestra proyección, utilizaremos tres métodos probabilísticos, el método geométrico, el aritmético y por mínimos cuadrados, con un periodo de diseño de 15 años. En la siguiente tabla se muestran datos censales necesarios para la aplicación de los métodos.

TABLA 4.8 DATOS CENSALES DE LA COMUNIDAD DE LOS LLANOS DE TEMALHUACÁN

DATOS CENSALES	
AÑO	POBLACIÓN (Habitantes)
1900	40
1910	51
1921	15
1930	76
1940	79
1950	131
1960	171
1970	438
1980	427
1990	833
1995	885
2000	761
2005	823
2010	889



MÉTODO ARITMÉTICO

Con este método se supondrá que el crecimiento de la población es constante, sabiendo esto se debe aplicar un promedio anual en años pasados y con esto obtener una población futura.

Con base en las siguientes fórmulas, se continuará con el cálculo.

$$r = \frac{\frac{N_t}{N_0} - 1}{t} \qquad P_f = N_0(1+r*t)$$

Donde:

N_0 y N_t = Población al inicio y al final del período

t = Tiempo en años, entre N_0 y N_t

r = Tasa de crecimiento observado en el período

P_f = Población final

Cálculo:

$$r = \frac{\frac{889}{40} - 1}{110}$$

$$r = 0.193$$

$$P_{f2030} = 40 (1 + .193 * 130) = 1043 \text{ habitantes}$$

DATOS CENSALES	
AÑO	POBL.
1900	40
1910	51
1921	15
1930	76
1940	79
1950	131
1960	171

DATOS CENSALES	
AÑO	POBL.
1970	438
1980	427
1990	833
1995	885
2000	761
2005	823
2010	889

AÑO	PROYECCIÓN
2015	928
2016	935
2017	943
2018	951
2019	958
2020	966
2021	974
2022	982

AÑO	PROYECCIÓN
2023	989
2024	997
2025	1005
2026	1012
2027	1020
2028	1028
2029	1036
2030	1043



MÉTODO GEOMÉTRICO

En este método también se supone un constante incremento pero no de forma definitiva sino en porcentajes, por lo cual se calcula una media y se aplica en los años que se desea conocer, lo anterior se llevará a cabo con las siguientes fórmulas:

$$P_{i+n} = P_i (1+T_c)^n$$

$$(1+T_c) = (P_D/P_{(D-1)})^{(1/n)}$$

Dónde:

P_{i+n} = Población futura

P_i = Población actual

T_c = Tasa de crecimiento

n = Años transcurridos

Dónde:

P_D = Población de cada decena

$P_{(D-1)}$ = Población de la decena anterior

n = Años transcurridos desde P_D y $P_{(D-1)}$

Cálculo:

$$(1+r) = \left(\frac{51}{40}\right)^{\frac{1}{(1910-1900)}}$$

$$(1+r) = 1.0291$$

$$P_f = P_a (1+r)^n$$

$$P_{f2030} = 1534 (1.0291)^{(2030-2029)}$$

$$P_{f2030} = 1579 \text{ habitantes}$$

DATOS CENSALES	
AÑO	POBLACIÓN(N)
1900	40
1910	51
1921	15
1930	76
1940	79
1950	131
1960	171

DATOS CENSALES	
AÑO	POBLACIÓN(N)
1970	438
1980	427
1990	833
1995	885
2000	761
2005	823
2010	889

AÑO	PROYECCIÓN(N)
2015	1026
2016	1056
2017	1087
2018	1119
2019	1151
2020	1185
2021	1219
2022	1255

AÑO	PROYECCIÓN(N)
2023	1291
2024	1329
2025	1367
2026	1407
2027	1448
2028	1490
2029	1534
2030	1579



MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS

Utilizando las siguientes fórmulas en este método, obtendremos una población de incremento lineal.

$$a = \frac{\Sigma P + \Sigma t (b)}{N} \qquad b = \frac{(N * \Sigma T_p) - (\Sigma t * \Sigma P)}{N (\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2} \qquad P = a + (b * t)$$

$$b = \frac{14(11183345) - (27461 * 5619)}{14(53882491) - (27461)^2} \qquad a = \frac{5619 + (27461 * 9.113926548)}{14}$$

$$b = 9.114$$

$$a = -17475.6098$$

$$P_{f(2025)} = -17475.60978 + 9.113926548 (2030) = 1026 \text{ habitantes}$$

DATOS CENSALES					
N	AÑO	POBLACIÓN	t ²	P ²	T _p
1	1900	40	3610000	1600	76000
2	1910	51	3648100	2601	97410
3	1921	15	3690241	225	28815
4	1930	76	3724900	5776	146680
5	1940	79	3763600	6241	153260
6	1950	131	3802500	17161	255450
7	1960	171	3841600	29241	335160
8	1970	438	3880900	191844	862860
9	1980	427	3920400	182329	845460
10	1990	833	3960100	693889	1657670
11	1995	885	3980025	783225	1765575
12	2000	761	4000000	579121	1522000
13	2005	823	4020025	677329	1650115
14	2010	889	4040100	790321	1786890
Σ	27461	5619	53882491	3960903	11183345

AÑO	PROYECCIÓN(N)
2015	889
2016	898
2017	907
2018	916
2019	925
2020	935
2021	944
2022	953
2023	962
2024	971
2025	980
2026	989
2027	998
2028	1007
2029	1017
2030	1026



Con las siguientes gráficas podremos darnos una idea del método estadístico más preciso, y por lo tanto, el que deberá tener más peso a la hora de tomar en cuenta la población proyecto, que será utilizado en el cálculo.

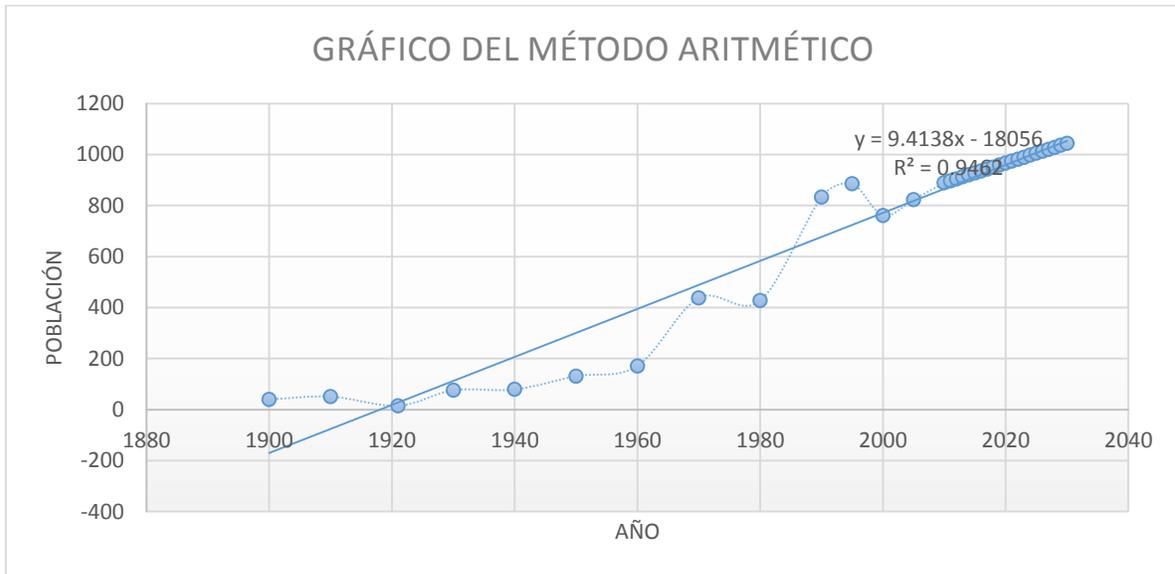


FIGURA 4.7 LÍNEA DE TENDENCIA PARA EL MÉTODO ARITMÉTICO.

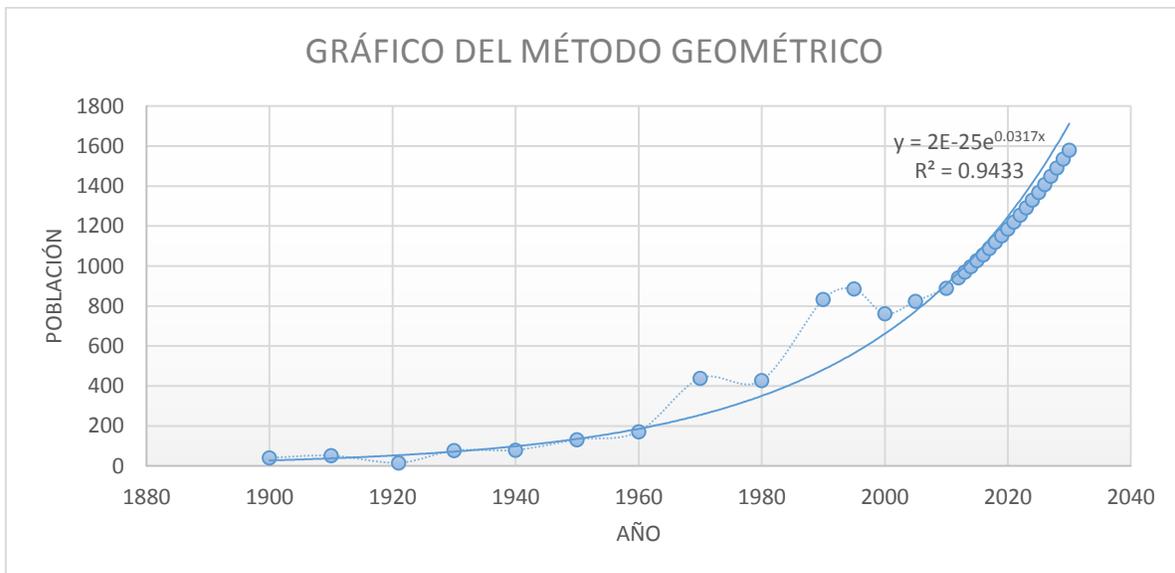


FIGURA 4.8 LÍNEA DE TENDENCIA PARA EL MÉTODO GEOMÉTRICO.

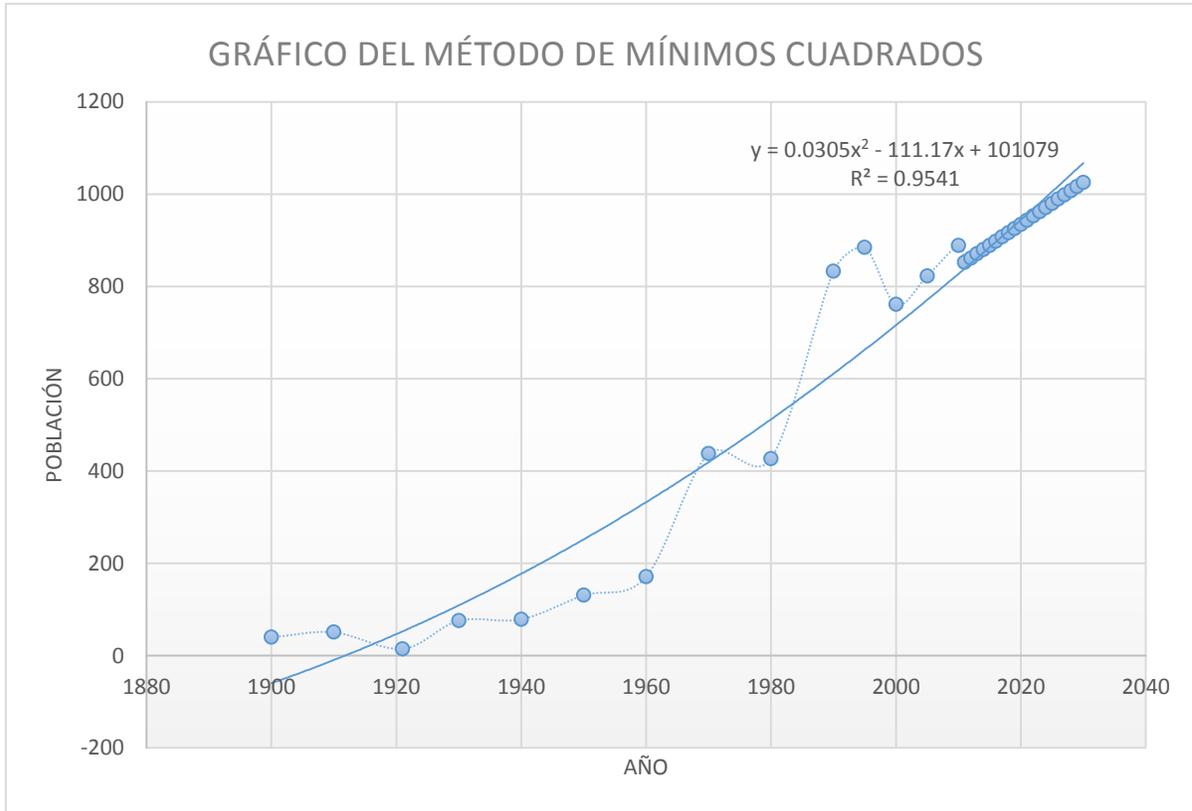


FIGURA 4.9 LÍNEA DE TENDENCIA PARA EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

En resumen:

MÉTODO	R
ARITMÉTICO	0.9462
GEOMÉTRICO	0.9433
MÍNIMOS CUADRADOS	0.9541

El método que más se acerque a la unidad, es considerado como el método de mayor confiabilidad, en este caso tenemos que el método de “Mínimos Cuadrados” con 0.9508 es el que más se acerca, sin embargo se decidió optar por un promedio de este y el resultado del método aritmético, debido a la similitud en el resultado y además se pretende involucrar los dos métodos, con el fin de obtener un resultado más confiable.

$$\text{Población proyecto} = (\text{Población M\u00ednimos cuadrados} + \text{Poblaci\u00f3n Aritm\u00e9tico}) / 2$$

$$\text{Poblaci\u00f3n proyecto} = (1026 + 1043) / 2$$

$$\text{Poblaci\u00f3n proyecto} = 1035 \text{ habitantes}$$



4.5. GASTOS DE DISEÑO

El gasto de diseño es el elemento principal para la elaboración de un sistema de tratamiento, dentro de este se considerará el gasto mínimo, medio, máximo, máximo instantáneo y máximo extraordinario, esto generado con una la población proyecto, la dotación y la demanda de la población.

4.5.1. DOTACIÓN

Para la especificación de los consumos de agua en nuestra localidad, con base en el “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, 2007”, se puede interpretar en 2 casos distintos:

- a) Cuando la localidad en estudio no dispone de estadística de consumos de agua.
- b) Cuando se tienen estadísticas de consumo de agua potable.

Para el caso de nuestra localidad, seleccionaremos el caso a, este caso tiene dos opciones, la primera consiste en realizar una medición de volúmenes consumidos por muestras de usuarios, seleccionados aleatoriamente en la localidad, que incluyan zonas habitacionales de cada una de las clases socioeconómicas, comerciales, industriales y de servicio público. El valor numérico de la muestra es de 30 usuarios mínimo por clase socioeconómica, para el servicio doméstico, y en el caso de los servicios restantes, se establecerá una muestra de industrias, comercios o lugares públicos, representativos de la actividad económica de la ciudad en estudio. La aplicación de este criterio implica disponibilidad de recursos humanos, de tiempo y económicos.

La segunda opción, consiste en fijar los consumos con base en las tablas 4.9, que son valores obtenidos de mediciones estadísticas registradas. El consumo doméstico se calcula multiplicando los datos de consumo per cápita de la tabla 4.9, por el número de habitantes de cada clase socioeconómica. El clima de la localidad en estudio se define en función de la temperatura media anual. El consumo comercial se determina aplicando los consumos típicos. El agua para el consumo industrial está en función del número y tipo de industrias que existan en la localidad, existen tablas en las que se presentan los consumos mínimos de hoteles y algunos tipos de industrias. El consumo para usos públicos se obtiene de igual manera utilizando tablas, para este caso en particular será la más viable, por carecer de elementos para un aforo de calidad.

Sin embargo en nuestro caso, se despreciarán los consumos comerciales, industriales y de usos públicos, debido a que no se cuenta con estos.



TABLA 4.9 CONSUMOS DOMÉSTICOS PER CÁPITA

CLASE SOCIOECONÓMICA (l/hab/día)			
CLIMA	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
CÁLIDO	400	230	185
SEMICÁLIDO	300	205	130
TEMPLADO	250	195	100

NOTA: Para los casos de climas semifrío se consideran los mismos valores que para el clima templado, el clima se selecciona en función de la temperatura media anual (Tabla 4.10.)

TABLA 4.10 CLASIFICACIÓN DE CLIMAS POR SU TEMPERATURA.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	(°C) TIPO DE CLIMA
Mayor que 22	CÁLIDO
De 18 a 22	SEMICÁLIDO
De 12 a 17.9	TEMPLADO
De 5 a 11.9	SEMIFRÍO
Menor que 5	FRÍO

La localidad presenta una temperatura media anual de entre 26° y 28°C, tomando en cuenta lo que nos presenta la tabla 4.10, el clima es de tipo cálido, obtenido este dato, pasamos a determinar la dotación en base a el tipo de clima y la clase socioeconómica preponderante, en este caso tenemos clima cálido y clase tipo popular, lo que nos arroja como resultado:

Dotación= 185 L/hab/día

GASTO MEDIO

Este valor es el caudal de aguas residuales en un día de aportación promedio al año. La CONAGUA considera que el alcantarillado debe estar herméticamente elaborado, por lo que no se añadirá al caudal de aguas negras el volumen por infiltraciones. El gasto medio se calculará con base en la aportación y la población, con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{MEDIO}} = \frac{A_p P}{86,400}$$

Donde:

Q_{MED} = Gasto medio de aguas negras en l/s.

A_p = Aportación de aguas negras en l/hab/día

P = Población, en número de habitantes.

86,400 = segundos en un día.



NOTA: Para localidades con zonas industriales, que aportan al sistema de alcantarillado volúmenes considerables, se debe adicionar al gasto medio, el gasto de aportación obtenido.

Cálculo:

Población proyecto = 1026 habitantes

Dotación= 185 L/hab/día

86,400 s / día

$$Q_{\text{MEDIO}} = \frac{A_p P}{86,400} = \frac{185 * 1035}{86,400}$$

$$Q_{\text{MEDIO}} = 2.216 \text{ L/s}$$

GASTO MÍNIMO

El gasto mínimo (Q_{min}), es el menor de los valores de escurrimiento que normalmente se presenta en un conducto. Se acepta que este valor es igual a la mitad del gasto medio.

$$Q_{\text{Mínimo}} = 0.5Q_{\text{MEDIO}}$$

En la tabla 4.11 se muestran valores del gasto mínimo que también pueden ser usados en el diseño de atarjeas. Se observa que el límite inferior es de 1.5 l/s, lo que significa que en los tramos iniciales de las redes de alcantarillado, cuando resulten valores de gasto mínimo menores a 1.5 l/s, se debe usar este valor en el diseño.



Tabla 4.11 VALORES DE GASTOS MÍNIMOS PARA DISEÑO.

DIÁMETRO (CM)		EXCUSADO DE 16 LITROS		EXCUSADO DE 8 LITROS	
		APORTACIÓN POR DESCARGA (L/S)	GASTO MÍNIMO AGUAS NEGRAS (L/S)	APORTACIÓN POR DESCARGA (L/S)	GASTO MÍNIMO AGUAS NEGRAS (L/S)
20	1	1.5	1.5	1	1
25	1	1.5	1.5	1	1
30	2	1.5	3	1	2
38	2	1.5	3	1	2
46	3	1.5	4.5	1	3
61	5	1.5	7.5	1	5
76	8	1.5	12	1	8
91	12	1.5	18	1	12

Cálculo:

$$Q_{\text{MEDIO}} = 2.21615 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{MÍNIMO}} = 0.5 Q_{\text{MEDIO}} = 0.5 (2.21615 \text{ L/s})$$

$$Q_{\text{MÍNIMO}} = 1.108 \text{ L/s}$$



GASTO MÁXIMO INSTANTÁNEO

Éste es el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un instante dado. Para valorar este gasto se consideran criterios diferentes a las condiciones socioeconómicas del lugar.

Obtendremos el gasto máximo instantáneo a partir del coeficiente de Harmon (M):

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$$

Donde “P” es la población servida acumulada hasta el punto final del tramo de tubería considerada en miles de habitantes. Este coeficiente de variación máxima instantánea, se aplica considerando que:

- En tramos con una población acumulada menor a los 1,000 habitantes, el coeficiente M es constante e igual a 3.8.
- Para una población acumulada mayor que 63,454, el coeficiente M se considera constante e igual a 2.17, es decir, se acepta que su valor a partir de esa cantidad de habitantes, no sigue la Ley de variación establecida por Harmon.
- Lo anterior resulta de considerar al alcantarillado como un reflejo de la red de distribución de agua potable, ya que el coeficiente “M” se equipará con el coeficiente de variación del gasto máximo horario necesario en un sistema de agua potable, cuyo límite inferior es de $1.40 \times 1.55 = 2.17$.

El gasto máximo instantáneo se obtendrá con:

$$Q_{\text{Minst}} = M (Q_{\text{Med}})$$

Entonces:

Población proyecto = 1035 habitantes

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{1035}{1000}}}$$

$$Q_{\text{Minst}} = 3.79032(2.21615)$$

$$Q_{\text{Minst}} = 8.399 \text{ L/s}$$

$$M = 3.790$$



GASTO MÁXIMO EXTRAORDINARIO

Es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como por ejemplo bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado.

En función de este gasto se determina el diámetro adecuado de los conductos, ya que brinda un margen de seguridad para prever los excesos en las aportaciones que pueda recibir la red, bajo esas circunstancias. En los casos en que se diseñe un sistema nuevo apegado a un plan de desarrollo urbano que impida un crecimiento desordenado y se prevea que no existan aportaciones pluviales de los predios vecinos, ya que estas serán manejadas por un sistema de drenaje pluvial por separado, el coeficiente de seguridad será 1. En los casos en que se diseñe la ampliación de un sistema existente de tipo combinado, previendo las aportaciones extraordinarias de origen pluvial, se podrá usar un coeficiente de seguridad de 1.5.

La expresión para el cálculo del gasto máximo extraordinario resulta:

$$Q_{Mext} = C_s * Q_{Minst}$$

Donde:

Q_{Mext} = Gasto máximo extraordinario, en L/s.

C_s = Coeficiente de seguridad

Cálculo:

Para este caso, al no existir un sistema de drenaje pluvial, consideraremos un coeficiente de seguridad de 1 y un gasto máximo instantáneo de 3.07379 L/s.

$$Q_{Mext} = C_s * Q_{Minst}$$

$$Q_{Mext} = 1.5 (8.39992 \text{ L/s})$$

$$Q_{Mext} = 12.599 \text{ L/s}$$

4.6. TOPOGRAFÍA

Es el principal factor a tomar en cuenta a la hora de ubicar nuestro tren de tratamiento, tiene como objetivo primordial la obtención de los niveles y cotas de terreno para la ubicación de las redes de alcantarillado, así como de la planta de tratamiento de agua residual, todo esto para lograr el funcionamiento óptimo, sin intervención de ningún tipo de bomba, corte o terraplén al terreno, en pocas palabras tratando siempre de economizar la obra sin descuidar el buen funcionamiento de esta, a continuación en la figura 4.10 y 4.11 se muestra la microlocalización del terreno donde se llevara a cabo la propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como su plano topográfico.



FIGURA 4.10 MICROLOCALIZACIÓN DEL ÁREA A UTILIZAR.

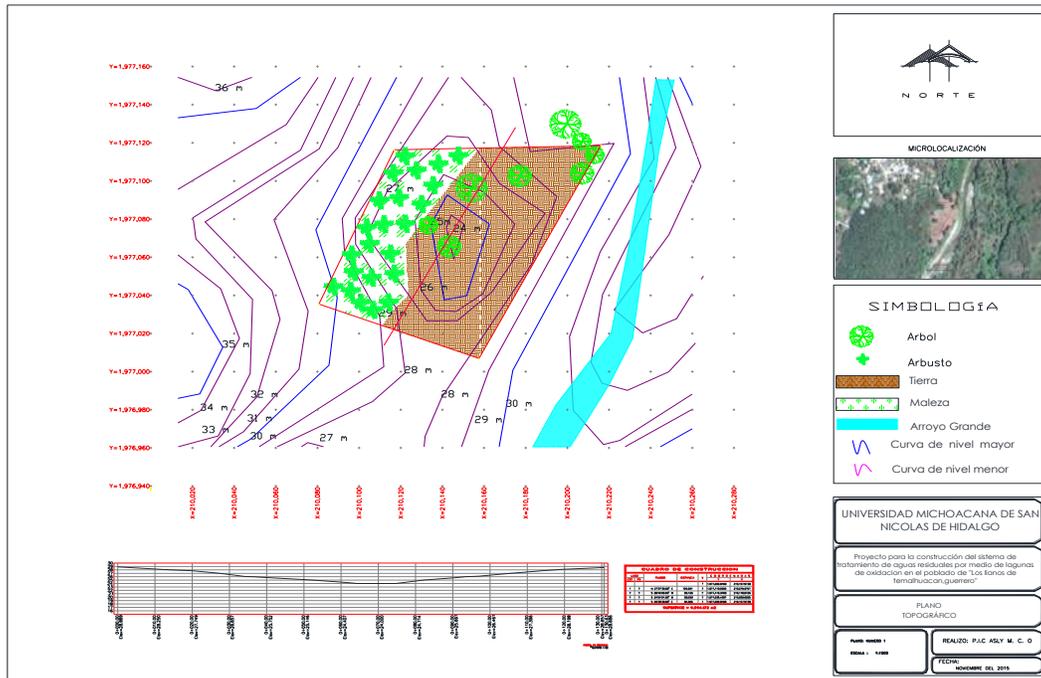


FIGURA 4.11 PLANO TOPOGRAFICO



5. DISEÑO DEL SISTEMA TRATAMIENTO

Para Los Llanos de Temalhuacán, se optó por utilizar el proceso de lagunas de estabilización, este proceso se adecua a las demandas poblacionales como; el bajo costo de inversión, operación y mantenimiento, así como la calidad del agua requerida.

Este diseño se divide en cuatro niveles:

1. Pretratamiento: Consiste en un sistema de cribado que nos retendrá la materia no deseada de mayor tamaño, seguido de un canal desarenador que removerá las partículas de menor tamaño que lograron pasar las rejillas de cribado.
2. Tratamiento Primario: Se colocara un tanque séptico que permitirá la degradación y sedimentación de partículas pesadas, que pasaran a depositarse en el fondo y las menos densas pasaran a acumularse en la parte superior del tanque.
3. Tratamiento secundario: Por medio de un sistema de lagunas de estabilización, este proceso se realizara con base en actividades bacterianas producidas por vegetación, como son las algas y organismos acuáticos.
4. Tratamiento terciario: Se presenta un sistema de lagunas de maduración, con esto lograremos bajar la concentración de coliformes fecales.

Cumpliendo entonces con los parámetros especificados en la NOM-003 de SEMARNAT para las aguas tratadas que se reúsen en servicios al público.



FIGURA 5.1 PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.



5.1. PRETRATAMIENTO

5.1.1. CRIBADO

Se presenta como primera etapa del pretratamiento y consiste en separar los sólidos gruesos con base en un sistema de rejas de barras de acero inoxidable.

Para nuestro diseño consideramos que la limpieza de nuestras rejas será de tipo manual y consideramos las siguientes especificaciones (METCALF & EDDY, 1997):

- La longitud del canal no deberá exceder de aproximadamente los 3 m, esto para evitar la incorrecta limpieza del mismo.
- Las barras que conforman la reja comúnmente no exceden los 10 mm de anchura por 50mm de profundidad.
- Es importante que la velocidad de aproximación se limite a 0.45 m/s (caudal medio).

En la Tabla 5.1 se muestra información típica a considerar para el diseño de las rejas, así como las dimensiones obtenidas para el proyecto, el cálculo integro se podrá consultar en el anexo "A".

TABLA 5.1 INFORMACIÓN TÍPICA PARA EL CALCULO DE REJAS DE BARRAS DE ACERO (CONAGUA, 2007).

CARACTERÍSTICA	LIMPIEZA MANUAL
Tamaño de la barra: Anchura, mm	5-15
Profundidad, mm	25-37.5
Separación entre barras, mm	25-50
Pendiente en relación a la vertical, en grados	25-50
Velocidad de aproximación, m/s	150
Perdida de carga admisible, mm	150

Tabla 5.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO PARA LA FASE DE CRIBADO

DATOS OBTENIDOS DEL CALCULO	
Gasto Máximo instantáneo(L/s)=	8.399
Espesor de la barra(m)=	0.0080
Inclinación de la barra con respecto a la horizontal(Grados)=	60
Separación entre barras para rejillas gruesas(m)=	0.0254
Eficiencia de las rejillas en función al espesor de las barras=	0.728
Velocidad de aproximación a la rejilla(m/s)=	0.6
Constante C (Determinación de las perdida de carga)=	0.7
Longitud del canal de la rejilla(m)=	3.0576
El ancho de la rejilla se propone(m)=	0.3
Numero de barras en la rejilla=	8



5.1.2. DESARENADOR

Se encarga de proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste, la reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducciones, y también se logra disminuir la frecuencia de limpieza de los digestores provocada por la excesiva acumulación de arenas.

Existen diversos tipos de desarenadores: de flujo horizontal, de diseño rectangular o cuadrado; aireado y de vórtice. Para este proyecto se utilizara un desarenador de flujo horizontal, este consiste en hacer circular el agua en dirección horizontal a través de un elemento, controlando la velocidad de circulación por medio de la propia geometría de la unidad, con compuertas de distribución especiales y mediante la adopción de vertedores de secciones especiales.

Para el cálculo y diseño de nuestro desarenador, la Tabla 5.3 nos proporciona datos típicos con lo que podemos partir, para así obtener las dimensiones del dispositivo. En la Tabla 5.4 se arrojaran los resultados obtenidos del cálculo realizado; la memoria de cálculo se puede consultar en el anexo A.

TABLA 5.3 INFORMACIÓN TÍPICA PARA EL PROYECTO DE DESARENADORES DE FLUJO HORIZONTAL (METCALF & EDDY, 1997)

CARACTERÍSTICA	VALOR	
	VALOR	INTERVALO
Tiempo de detención, s	45-90	60
Velocidad horizontal, m/s	0.24-0.40	0.30
Velocidad de sedimentación para la eliminación de: Malla 65, m/min ^a	0.95-1.25	1.15
Malla 100, m/min ^a	0.60-0.90	0.75
Perdida de carga en la sección de control como porcentaje de la profundidad del canal, %	30-40	36
Incremento por turbulencia en la entrada y salida	2*D _m -0.5*L	

TABLA 5.4 DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DESARENADOR PRODUCTO DEL CÁLCULO REALIZADO.

DATOS OBTENIDOS DEL CALCULO	
Gasto máximo instantáneo (L/s) =	8.399
Número total de canales =	2
Número de canales para mantenimiento=	1
Velocidad horizontal del agua a través del canal desarenador (m/s) =	0.3
Peso volumétrico de la partícula a sedimentar (g/cm ³) =	2.65
Diámetro de la partícula a retener (mm)=	0.21
Velocidad de sedimentación de la partícula a retener (m/s) =	0.01
Ancho de canal (m)=	0.3
Longitud del canal(m)=	7
Tiempo de retención hidráulico(s)=	9.33



VERTEDOR SUTRO

También es llamado vertedor proporcional, tiene la característica de hacer pasar un caudal directamente proporcional a la carga, se coloca como dispositivo regulador del tirante en ciertos dispositivos, además es utilizado para realizar aforos. Este presenta una sección transversal rectangular, con la que obtenemos una velocidad constante. Este tipo de vertedor tiende a ser usado en las plantas de tratamiento por tener una nula acumulación de residuos sedimentables, comparado con los vertedores planos este presenta menores pérdidas de carga para un mismo caudal.

La memoria de cálculo para la obtención de la Tabla 5.5, así como las dimensiones del vertedor que se muestra en la Fig. 5.2, se podrá consultar en el anexo A.

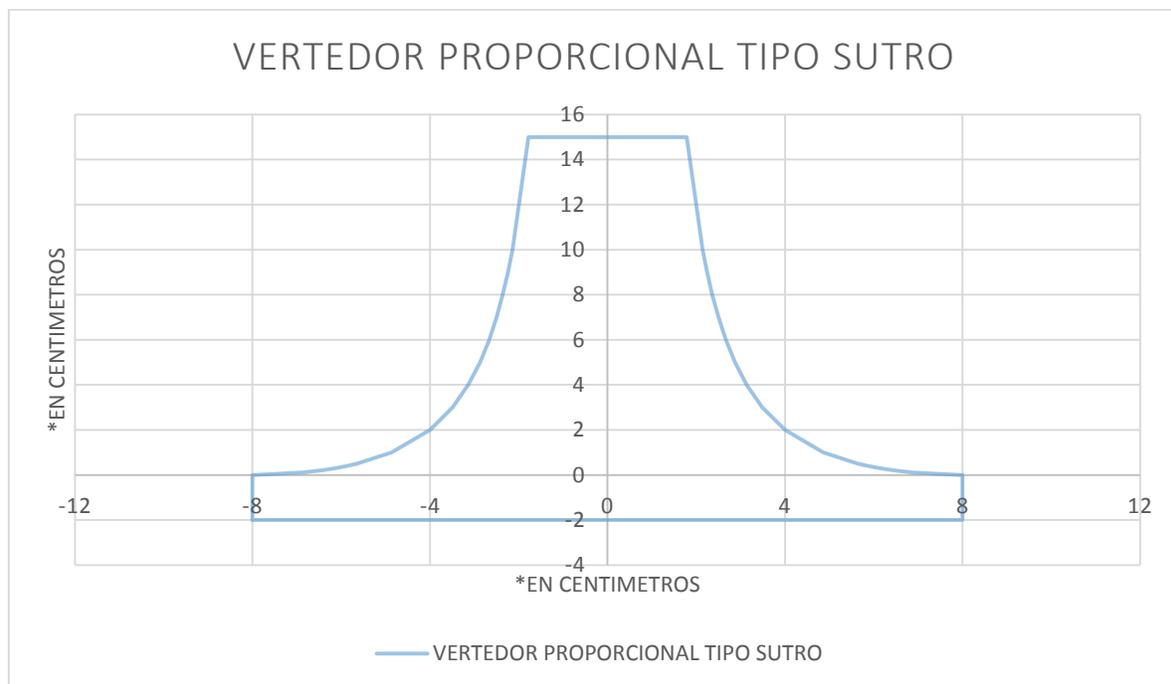


FIGURA 5.2 VERTEDEDOR TIPO SUTRO

La Tabla 5. 5 nos muestra la relación tirante-gasto, podemos observar que nuestro vertedor tiene la capacidad de controlar el gasto máximo extraordinario que puede llegar a presentarse dentro del canal.



TABLA 5.5 RELACIÓN ENTRE LA ALTURA DEL TIRANTE Y EL GASTO QUE PASA POR EL VERTEDOR TIPO SUTRO.

GASTO EN EL VERTEDOR			GASTO EN EL VERTEDOR		
h (m)	Q (L/s)	Q (m3/s)	h (cm)	Q (L/s)	Q (m3/s)
0	1.34	0.00134	0	1.34	0.00134
0.005	1.84	0.00184	0.5	1.84	0.00184
0.01	2.34	0.00234	1	2.34	0.00234
0.02	3.34	0.00334	2	3.34	0.00334
0.03	4.34	0.00434	3	4.34	0.00434
0.04	5.35	0.00535	4	5.35	0.00535
0.05	6.35	0.00635	5	6.35	0.00635
0.06	7.35	0.00735	6	7.35	0.00735
0.07	8.35	0.00835	7	8.35	0.00835
0.08	9.35	0.00935	8	9.35	0.00935
0.09	10.36	0.01036	9	10.36	0.01036
0.1	11.36	0.01136	10	11.36	0.01136
0.11	12.36	0.01236	11	12.36	0.01236
0.12	13.36	0.01336	12	13.36	0.01336
0.13	14.37	0.01437	13	14.37	0.01437
0.14	15.37	0.01537	14	15.37	0.01537
0.15	16.37	0.01637	15	16.37	0.01637

5.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

5.2.1. TANQUE SÉPTICO

Algunos de los objetivos principales de este dispositivo son la reducción de sólidos totales y la DBO₅ por acción de las bacterias anaerobias. Dentro de este se permitirá que las partículas más pesadas se logren sedimentar por medio de la gravedad. Las partículas que logren sedimentarse pasaran a formar una capa de lodo en el fondo del tanque, el cual deberá extraerse de manera periódica. El material sedimentado forma en la parte inferior del tanque séptico una capa de lodo, que debe extraerse constantemente.

En el tramo intermedio (zona de sedimentación) se ubican los líquidos con materia orgánica disuelta.

Las partículas más livianas, grasas, aceites y materiales menos densos, se acumularan en la parte superior, formando espuma. En las capas de lodo y espuma se encuentra materia orgánica incluida, esta es descompuesta por microorganismos anaerobios, resultando en que gran parte de esta materia se convierta en gases y agua. La velocidad en el proceso de digestión incrementa si la temperatura crece.

Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 30% en sólidos suspendidos totales y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

En la Tabla 5.6 y 5.7 se muestran los datos necesarios para el dimensionamiento del tanque séptico, así como las dimensiones resultantes del cálculo. La memoria de cálculo consultarse en el anexo A.



TABLA 5.6 DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE SÉPTICO.

DATOS DEL PROYECTO	
Población (hab)	1035
Gasto de diseño (m3/d)	191.4624
Aportación de lodos (L/hab-año)	70
Tiempo de retención hidráulico(d)	1
Intervalo de limpieza(d)	30
DBO ₅ en el influente(mg/L)	252.66
SST en el influente(mg/L)	255.33

TABLA 5.7 DIMENSIONES DEL TANQUE SEPTICO PRODUCTO DEL CÁLCULO REALIZADO.

DATOS OBTENIDOS DEL CALCULO	
Longitud(m) =	12
Base(m) =	5.5
Altura del tanque(m) =	3
Área correspondiente al fondo del tanque(m) =	65.81
DBO ₅ en el efluente(mg/L) =	176.862
SST en el efluente(mg/L) =	178.731

5.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

5.3.1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas (o estanques) de estabilización no son más que cuerpos de agua relativamente profundos contenidos en fosas excavadas en el terreno, ahí se almacenan para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos.

Para el cálculo se consideró utilizar 2 lagunas de estabilización que trabajaran de manera facultativa, considerando que el influente sería perteneciente a aguas residuales domésticas.

En las Tabla 5.8 y 5.9, se muestra los datos necesarios para el cálculo de las dimensiones, así como los resultados de este, la memoria de cálculo se encuentra en el anexo A.

TABLA 5.8 DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

DATOS DEL PROYECTO	
Gasto de diseño (m3/d)	191.4624
DBO ₅ Influyente (mg/L)	176.862
DBO ₅ Efluente (mg/L)	20.00
SST Influyente (mg/L)	178.731
SST Efluente (mg/L)	20.00
Coliformes fecales (NMP/100mL)	1600000000
Profundidad (m)	2
Temperatura ambiental del mes más frío Ta (°C)	26



TABLA 5.9 DIMENSIONES DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PRODUCTO DEL CÁLCULO REALIZADO.

DATOS DEL PROYECTO	
1er Laguna de estabilización	
Tiempo de retención de la laguna (d) =	6.5
Ancho de la laguna (m) =	25
Largo de la laguna (m) =	24
2da Laguna de estabilización	
Tiempo de retención de la laguna (d) =	5
Ancho de la laguna (m) =	21
Largo de la laguna (m) =	22.5

En la laguna primaria se espera tener una remoción de DBO₅ del 82%, el influente presenta una concentración de 176.862mg/L y mediante este proceso se logra reducir a 32.57 mg/L. En cuanto a coliformes fecales la eficiencia de remoción se espera que sea del 98%; el influente presenta una concentración de 1600000000 NMP/100mL y se logra disminuir a 32658420.90 NMP/100mL.

Haciendo referencia a la laguna secundaria se espera tener una de remoción de DBO₅ del 76%, el influente presenta una concentración de 32.57 mg/L y mediante este proceso se logra reducir a 7.72 mg/L. En cuanto a coliformes fecales la eficiencia de remoción se espera que sea del 97%; el influente presenta una concentración de 32658420.90 NMP/100mL y se logra disminuir a 861315.89 NMP/100mL.

5.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

5.4.1. LAGUNAS DE MADURACIÓN

Estas pueden ser llamadas también lagunas de estabilización de baja carga terciarias y son diseñadas para mejorar la calidad del efluente generado por el tratamiento secundario y de igual manera para la nitrificación estacional.

En este tipo de lagunas la actividad de algas en conjunto con la foto-oxidación, son los mecanismos principales para la remoción de coliformes fecales y patógenos; por otro lado también ofrecen una aportación a la remoción significativa de nitrógeno y fosforo.

En las Tablas 5.10 y 5.11 se presentaran los datos necesarios para su diseño, así como los resultados obtenidos en este proyecto, los cálculos a detalle se encuentran en el anexo A.



TABLA 5.10 DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN.

DATOS DEL PROYECTO	
Temperatura ambiental del mes más frío (°c)	26
Tiempo de retención de la laguna primaria (d)	6.5
Tiempo de retención de la laguna secundaria (d)	5

TABLA 5.11 DIMENSIONES DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN PRODUCTO DEL CÁLCULO REALIZADO.

DATOS DEL PROYECTO	
Ancho de las lagunas de maduración(m) =	24
Largo de las lagunas de maduración(m) =	25
Tiempo de retención de la laguna de maduración (d) =	6.5
Densidad de coliformes fecales en el efluente de la laguna de maduración secundaria (CF/100 mL) =	358.85

En la laguna primaria se espera tener una remoción de coliformes fecales del 98%, el influente presenta una concentración de 861315.89 NMP/100mL y se logra reducir a 17580.76 NMP/100mL.

Para la laguna secundaria se espera tener una eficiencia de remoción de coliformes fecales del 98%, el influente presenta una concentración de 17580.76 NMP/100mL y se logra reducir a 358.85 NMP/100mL., cabe destacar que a pesar de que el porcentaje de remoción sea alto, no se logra cumplir con el límite máximo permisible que establece la norma.

En conjunto, se espera que el sistema de lagunaje logre una eficiencia de remoción de solidos suspendidos totales de más del 95%, el influente presenta una concentración de 178.731 mg/L y se logra reducirá a poco menos de 8 mg/L.

VERTEDOR TRIANGULAR

Llamado también vertedor en “V”, será el último dispositivo a colocar en nuestra planta de tratamiento que servirá para realizar el aforo del caudal de salida. Su ventaja reside en la facilidad que ofrece para medir gastos pequeños con precisión y cubrir un rango amplio. Comúnmente se usa con un ángulo de 90°, pero se pueden usar otros ángulos.

La Fig.5.3 nos muestra la forma del vertedor, también se muestra una tabla con las dimensiones obtenidas. La memoria de cálculo se puede consultar en el anexo A.

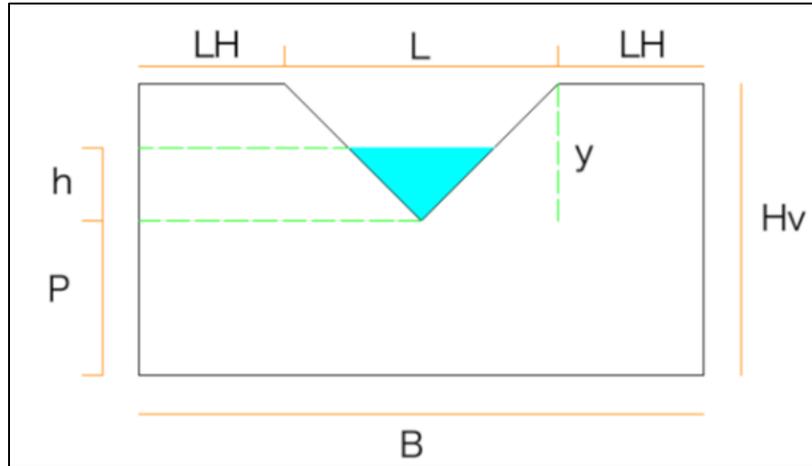


FIGURA 5.3 VERTEDEDOR TRIANGULAR

Donde:

Q = Gasto, m^3/s

H_v = Longitud vertical del vertedero

B = Ancho del canal

C = Constante C

h = Tirante sobre el vertedor, m .

Tabla 5.12 DIMENSIONES OBTENIDAS DEL VERTEDEDOR TRIANGULAR PRODUCTO DEL CÁLCULO REALIZADO

DATOS DEL PROYECTO	
Angulo del vertedor (A) $^\circ C$ =	60
Constante C =	0.77
Tirante sobre el vertedor, m (h) =	0.20
P (m) =	0.61
y (m) =	0.39
L (m) =	0.45
LH (m) =	0.15
Ancho del canal (B) =	0.75
Longitud vertical del vertedero (H_v) =	1

DESHIDRATACIÓN DE LODOS

Con el objetivo de optimizar en su totalidad el tratado del agua residual, los lodos producidos serán tratados por medio de un proceso de deshidratación que tendrá dos lechos de secado con poca profundidad que a su vez poseen fondos porosos. Este procedimiento se logra gracias al drenaje de las capas inferiores y a la evaporación de la superficie bajo la acción del sol y el viento. Realizada la deshidratación podemos dar paso a un posterior empleo; ya sea empleándolos como fertilizantes, a una valorización energética o a un vertedor controlado.



Para este proyecto se consideraron ciertas especificaciones como; los lechos tendrán una capa de arena de un diámetro de 0.4 a 0.6 mm y un coeficiente de uniformidad menor a 4; el espesor de la capa será de 30 cm. La capa de arena descansará sobre una capa de grava de un diámetro de 10 a 15 mm, con un espesor de 30 cm. Sobre ambas capas se distribuye los lodos con un espesor de 20 cm, para producir pérdida de agua por medio de drenado y evaporación.

TABLA 5.13 DATOS PRODUCTO DEL CÁLCULO REALIZADO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS LECHOS DE SECADO.

DATOS DE POYECTO	
Espesor de la capa de lodo (m) =	0.20
Tiempo de retención, T (días) =	35.00
Aportación de sólidos, AS (g S/hab*día) =	49.00
Área del lecho de secado, Als (m ²) =	15.40
Ancho del lecho, b (m) =	4.00
Longitud del lecho de secado, L (m) =	4.00
Volumen diario de lodos, Vld (L/d) =	176.09



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El propósito fundamental de este proyecto de tesis es retomar el problema del inadecuado vertido y tratado de las aguas residuales en México, vital para disminuir los daños severos que se le están ocasionando a grandes ecosistemas, y presentar una solución económica, con costos de operación, construcción y mantenimiento óptimos, además de una alta eficiencia de depuración de contaminantes, para el tratado de las aguas residuales.

Así pues, la aportación primordial del presente trabajo consiste en el diseño de una planta de tratamiento de agua residual por medio de lagunas de estabilización en la que, por medio de cuatro niveles de tratamiento se busca verter el agua tratada, con los límites permisibles máximos de contaminantes, favoreciendo así al medio ambiente.

Como resultado de análisis y cálculos detallados se elaboraron los elementos y dispositivos que componen estas fases, con las que se logró remover parámetros de importancia como son la DBO_5 , los sólidos suspendidos totales y coliformes totales, cumpliendo así con las Normas Oficiales Mexicanas necesarias para que sea aceptado nuestro efluente.

Las características del influente son 252.66 mg/L de DBO_5 , 255.33 mg/L de concentración de sólidos suspendidos totales y 1600000000 NMP/100mL de coliformes fecales, los cuales después de pasar por todo el tren de tratamiento nos arroja un efluente con las características siguientes; 8 mg/L de DBO_5 , 20.00 mg/L de concentración de sólidos suspendidos totales y 358.85 NMP/100mL de coliformes fecales.

Considerando que los sistemas de lagunas están bien diseñados y operados correctamente, estos presentan mejor eficiencia de remoción de virus, bacterias y especialmente de los huevos de helmintos en comparación con otros sistemas de tratamiento naturales. Si bien los otros procesos necesitan la desinfección como tratamiento terciario para obtener una remoción igual a la de las lagunas; el cloro no garantiza la remoción total de huevos de helmintos. Además la laguna es el único proceso que, como un proceso secundario, puede producir efluentes de una calidad que puede utilizarse para el riego en la agricultura o como fuente de agua en la acuicultura.

Finalmente es necesario enfatizar ciertas recomendaciones que permitirán al organismo operador llevar a cabo el funcionamiento y mantenimiento correcto de la planta residual, evitando así la obtención de resultados favorables.

- Se recomienda elaborar un manual de operación, mantenimiento y control, que contenga de manera detallada las actividades necesarias para llevar a cabo el funcionamiento correcto, los requerimientos de mantenimiento y control mínimos



deberán ser revisados y cumplidos periódicamente, por el operador, esto con la finalidad de eliminar cualquier problema en la planta de tratamiento.

- Debido a que es probable que la población con la que se proyectaron los gastos de diseño ya no sea la misma, deberán hacerse las correcciones correspondientes.
- Aunque el presente trabajo contiene las bases necesarias para poder llevar a cabo esta obra civil, se debe tener en cuenta que solo es una propuesta de tratamiento de agua residual, a la cual se debe complementar para realizar el proyecto ejecutivo.



7. BIBLIOGRAFÍA

- Ambiente, C. P. (2005). *Guía Para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. Lima, Perú.
- CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México, Distrito Federal.
- CONAGUA. (2010). *Estadísticas del Agua en la Cuenca del Rio Balsas*. México, Distrito Federal.
- CONAGUA. (2014). *ESTADÍSTICAS del Agua en México*. México, Distrito Federal.
- David Napoleón, R. D. (2012). *Propuesta de un sistema de Lagunas de Estabilización, Para el Tratamiento de las Aguas Residual de la Zona Poniente de la Ciudad de Tapachula, Chiapas*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autonoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica, Mexico, Distrito Federal.
- Gabriel, S. F. (2012). *Diseño de Aabastecimiento de Agua Potable para el Municipio de Tlacolulan, Veracruz*. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana Facultad de Ingenieria Civil Region Xalapa, Veracruz.
- Grupo de Estudio de Impacto Ambiental, G. D. (2012). Anexo IX. Aguas Residuaes y Tratamiento de Efluentes Cloacales. En G. d. Ambiental.
- Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua, I. M. (2001). *Vertedores*.
- Mara. (1976). *Anexo IX. Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales, Tratamiento de Efluentes, Caracterización, Generalidades, Definición y Origen*.
- Metcalf & Eddy, I. (1997). *Ingenieria de Aguas Residuales, Tratamiento Vertido y Reutilización*. Mc Graw Hill/Interamericana Editores S.A de C.V.
- Montero, I. P.-I. (2010). Reutilización del Agua en Bahia Blanca 3ra Cuenca. En I. P.-I. Montero.
- Rosales Escalante, E. (2003). *Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones. Vol.18*, Tecnología en marcha.
- Vera, I. G. (1996). *Propuesta Metodológica Evaluacion de Lagunas de Estabilización*. Lima, Perú.



PAGINAS WEB

- Consulta en Línea <http://mexico.pueblosamerica.com/i/los-llanos-de-temalhuacan-los-llanos/> Fecha de consulta: Agosto 2015
- Consulta en Línea <http://www.nuestro-mexico.com/Guerrero/La-Union-de-Isidoro-Montes-de-Oca/Los-Llanos-de-Temalhuacan-Los-Llanos/> Fecha de consulta: Agosto 2015
- Consulta en Línea <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gro/territorio/clima.aspx?tema=me&e=12> Fecha de Consulta: Agosto 2015
- Consulta en Línea <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/> Fecha de Consulta: Agosto 2015
- Consulta en Línea http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=pob&c=1 Fecha de Consulta: Agosto 2015
- Consulta en Línea <https://www.google.com/earth/> Fecha de consulta: Agosto 2015
- Consulta en Línea http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/censos/cpv2010/PT.asp?s=est&c=27770&proy=cpv10_pt Fecha de consulta: Septiembre de 2015.
- Consulta en Línea http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx
- Consulta en Línea http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indicadores_sociodemograficos Fecha de consulta: Septiembre de 2015.
- Consulta en Línea http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/consulta_localidades.aspx Fecha de consulta: Septiembre de 2015.



ANEXOS

ANEXO A

MEMORIA DE CÁLCULO TRATAMIENTO PRELIMINAR

CRIBADO

Para evitar el acceso de sólidos gruesos a la planta de tratamiento de aguas residuales, se instalará en el canal de acceso, rejillas de barras de acero inoxidable de limpieza manual.

Datos:

- Gasto máximo instantáneo = 8.399 L/s (710.56 m³/d)
- Espesor de la barra = 3/8" (0.008 m).
- Inclinación de la barra con respecto a la horizontal = 60°.
- Separación entre barras para rejillas gruesas = 1" (0.0254 m).
- Eficiencia de las rejillas en función al espesor de las barras = 0.728.
- Velocidad de aproximación a la rejilla = 0.6 m/s.
- Constante C (determinación de las pérdidas de carga) = 0.7

El área útil de la sección transversal de la rejilla está determinada por la siguiente expresión:

$$A_U = \frac{Q_{\text{máxinst}}}{v} = \frac{8.399/1000}{0.60} = 0.0140 \text{ m}^2$$

Donde:

A_U = Área útil de sección transversal de la rejilla, m².

$Q_{\text{máxinst}}$ = Gasto máximo instantáneo, m³/s.

v = Velocidad de aproximación a la rejilla, m/s.

Tomando en cuenta el espacio entre barras de 1" (0.0254 m) y la eficiencia de las cribas, el incremento neto de área a área total es:

$$A_R = \frac{A_U}{\text{Eficiencia}} = \frac{0.0140}{0.728} = 0.0192 \text{ m}^2$$

Donde:

A_U = Área útil de sección transversal de la rejilla, m².

A_R = Área total de sección transversal de la rejilla, m².



Calculando la velocidad de aproximación a la rejilla con A_R :

$$v = \frac{Q_{\text{máxinst}}}{A_R} = \frac{8.399/1000}{0.0192} = 0.437 \text{ m/s}$$

$Q_{\text{máxinst}}$ = Gasto máximo instantáneo, m^3/s .

v = Velocidad de aproximación a la rejilla, m/s .

A_R = Área total de sección transversal de la rejilla, m^2 .

Para la longitud del canal de la rejilla, tomamos un tiempo de retención hidráulico de 7 segundos y tenemos:

$$L_{CR} = \frac{(Q_{\text{máxinst}}) \cdot (t)}{A_R} = \frac{(8.399/1000) \cdot (7)}{0.0192} = 3.06 \text{ m} = 3.00 \text{ m}$$

Donde:

L_{CR} = Longitud del canal de la rejilla, m .

$Q_{\text{máxinst}}$ = Gasto máximo instantáneo, m^3/s .

A_R = Área total de sección transversal de la rejilla, m^2 .

t = Tiempo de retención hidráulico, s .

El ancho del canal de la rejilla será:

$$b_{CR} = 0.3 \text{ m.}$$

Si se acepta la sección $b_{CR} \cdot L_{CR} > A_R$

$$(0.3 \cdot 3.0) = 0.917 \text{ m}^2 > 0.0192 \text{ m}^2.$$

Determinando el número de barras en la rejilla:

$$b_g = \left(\frac{b_{CR} - e}{S + e} + 1 \right) \cdot e = \left(\frac{0.3 - 0.0254}{0.008 + 0.0254} + 1 \right) \cdot 0.0254 = 0.234 \text{ m}$$

$$n = \frac{b_g}{e} - 1 = \frac{0.234}{0.0254} - 1 = 8 \text{ barras}$$

Donde:

b_g = Suma de la separación entre barras, m .

S = Espesor de las barras, m .

e = Separación entre barras, m .

n = Número de barras.



Determinando la pérdida de carga hidráulica (hL) en la rejilla:

$$v_T = \frac{Q_{\text{máxinst}}}{A_H} = \frac{8.399/1000}{0.0173} = 0.485 \text{ m/s}$$

$$h_L = \frac{1}{C} \left(\frac{v_T^2}{2g} \right) = \frac{1}{0.7} \left(\frac{0.485^2 * 0.437^2}{2 * 9.81} \right) = 0.003 \text{ m} < 0.15 \text{ m}$$

Donde:

v_T = Velocidad a través de la rejilla, m/s.

$Q_{\text{máxinst}}$ = Gasto máximo instantáneo, m³/s.

A_H = Área hidráulica de la rejilla, m².

h_L = Pérdida de carga hidráulica en la rejilla, m.

C = Coeficiente de pérdida de carga (0.6-0.7).

v = Velocidad de aproximación a la rejilla, m/s.

CANAL DESARENADOR

Para evitar depósitos de arena en los procesos de tratamiento subsecuentes, obstrucción de tuberías, bombas, etc., se instalará desarenadores de flujo horizontal tipo canal con limpieza manual.

Datos:

- Gasto máximo instantáneo = 8.399 L/s (710.56 m³/d)
- Número total de canales = 2
- Número de canales para mantenimiento = 1.
- Velocidad horizontal del agua a través del canal desarenador = 0.3 m/s.
- Peso volumétrico de la partícula a sedimentar = 2.65 g/cm³.
- Diámetro de la partícula a retener = 0.21 m.
- Velocidad de sedimentación de la partícula a retener = 0.01 m/s.



El área de la sección transversal del canal desarenador está determinada por la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q_{\text{máxinst}}}{v} = \frac{8.399/1000}{0.30} = 0.03$$

Donde:

A = Área de la sección transversal del canal desarenador, m².

Q_{máxinst} = Gasto máximo instantáneo, m³/s.

v = Velocidad horizontal del agua, m/s.

El ancho del canal desarenador será igual que el ancho del canal de la rejilla.

b_{des} = 0.3 m.

- Determinando el Tiempo de Retención Hidráulico en el canal desarenador:

$$t = \frac{y}{v_{\text{sed}}} = \frac{0.03/0.30}{0.01} = 9.33$$

Donde:

t = Tiempo de retención hidráulico, s.

v_{sed} = Velocidad de sedimentación de la partícula a retener, m/s.

y = Tirante hidráulico, m.

La longitud del canal desarenador está determinada por la siguiente expresión:

$$L_{\text{des}} = v \cdot t = (0.3 \cdot 9.33) = 2.799 \text{ m}$$

Donde:

L_{des} = Longitud del canal desarenador, m.

V = velocidad horizontal del agua, m³/s.

t = Tiempo de retención hidráulico, s.

Incrementando la longitud del canal desarenador un 50% para compensar la turbulencia generada a la entrada y salida del canal:

$$L_{\text{des}} = 2.799 \cdot 1.5 = 4.2 \text{ m}$$



Revisando la carga hidráulica superficial (CHS):

Si $CHS < 70 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * \text{h}$ se acepta la sección

$$CHS = \frac{Q_{\text{máxinst}}}{L_{\text{des}} * b_{\text{des}}} = \frac{(8.399/1000)*3600}{4.2*0.30} = 24 \text{ m}^3/\text{m}^2*\text{h}$$

Determinando la cámara colectora de arenas considerando un volumen de arena generado de $0.022 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ de agua:

Volumen de arena generado en 7 días

$$V_{\text{are}} = \frac{Q_{\text{máxinst}} * 7 * V_{\text{are}}}{1000} = \frac{((8.339/1000)*86400)*7*0.022}{1000} = 0.112 \text{ m}^3$$

$$Ha = \frac{V_{\text{are}}}{L_{\text{des}} * b_{\text{des}}} = \frac{0.114}{4.2*0.30} = 0.089 \text{ m} = 0.09 \text{ m}$$

Donde:

V_{are} = Volumen de arena, m^3 .

$Q_{\text{máxinst}}$ = Gasto máximo instantáneo, m^3/s .

Ha = Profundidad de la cámara colectora de arenas, m.

L_{des} = Longitud del canal desarenador, m.

b_{des} = Ancho del canal desarenador, m.

La profundidad de la cámara colectora de arenas tendrá un escalón de bajada inclinado 45° .

TRANSICIONES

Del cribado al desarenador

$$LT = \frac{B-b}{2 * \text{Tan } \alpha} = \frac{0.75-0.30}{2 * \text{Tan } 12.5^\circ} = 1.01 \text{ m}$$



Donde:

B = Ancho de la sección mayor, m.

b = Ancho de la sección menor, m.

α = Ángulo de la transición, m.

Del desarenador al "Parshall"

$$LT = \frac{B-b}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0.75-0.30}{2 \cdot \tan 12.5^\circ} = 1.01 \text{ m}$$

DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

TANQUE SÉPTICO

Datos:

- Población = 2648 habitantes.
- Gasto de diseño = 2.452 L/s (211.85 m³/d)
- Aportación de lodos = 70 L/hab-año
- Tiempo de retención hidráulico = 1 d.
- Intervalo de limpieza = 30 d.
- DBO₅ influente = 252.66 mg/L
- SST_{efluente} = 255.33 mg/L

Para determinar el volumen para el agua tenemos la expresión:

$$V_{\text{agua}} = Q_{\text{med}} \cdot t = 191.46 \cdot 1 = 191.46 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{agua} = Volumen del agua, m³.

t = Tiempo de retención hidráulico, días.

Q = Gasto, m³/d.

Determinando el volumen de lodos mediante la siguiente expresión:

$$V_{\text{lodo}} = PP \cdot S \cdot I = 1035 \cdot ((70/1000)365) \cdot 30 = 5.955 \text{ m}^3$$



Donde:

V_{lodo} = Volumen de lodos, m^3 .

PP = Población proyecto, habitantes.

S = Aportación de lodos, L/hab-año.

I = Intervalo de limpieza, días.

Recalculando el volumen de lodos

$$V = V_{\text{agua}} + V_{\text{lodo}} = 191.46 + 5.96 = 197.42 m^3$$

Con una profundidad de 3.00 m, las dimensiones del tanque son:

$$A = \frac{V}{h} = \frac{197.42}{3} = 65.81$$

Proponiendo un ancho de 5.5 m, lo longitud sería de:

$$L = \frac{A}{b} = \frac{65.81}{5.5} = 12$$

Revisando la relación Largo/ancho: $2 \leq L/b \leq 3$

Si $2 \leq L/b \leq 3$ se aceptan las dimensiones

$$\frac{L}{b} = \frac{12}{5.5} = 2.18$$

Donde:

V = Volumen del tanque, m^3 .

A = Área del tanque, m^2 .

b = Ancho del tanque, m.

L = Longitud del tanque, días.

Tomando en cuenta la eficiencia de remoción de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno:

$$DBO_{\text{Seffluente}} = DBO_{\text{Sinfluyente}} * 0.7$$



$$DBO_{5\text{efluente}} = 252.66 * 0.7$$

$$DBO_{5\text{efluente}} = 176.86 \text{ mg/L}$$

De igual manera se tomara en cuenta un 30% para Solidos Suspendidos Totales:

$$SST_{\text{efluente}} = SST_{\text{influyente}} * 0.7$$

$$SST_{\text{efluente}} = 255.33 * 0.7$$

$$SST_{\text{efluente}} = 178.73 \text{ mg/L}$$

DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO

Lagunas de Estabilización (Método Yañez).

El sistema propuesto cuenta con dos lagunas de estabilización facultativas que tienen por objeto la reducción de materia orgánica, resultado de la actividad metabólica de bacterias heterótrofas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno disuelto.

Datos:

- Gasto de diseño= 2.216 L/s (191.462 m³/d).
- Considerando que el 30% fue eliminada en el tanque séptico.
DBO5 Influyente= 176.86 mg/L.
DBO5 Efluente= 20 mg/L (NOM-003-SEMARNAT-1997).
- Considerando que el 30% fueron eliminados en el tanque séptico.
SST Influyente= 178.73 mg/L.
SST Efluente= 20 mg/L (NOM-003-SEMARNAT-1997).
- Coliformes fecales= 1,600,000,000 NMP/100 mL
- Profundidad = 2.00 m. h
- Temperatura ambiental del mes más frío = 26 °C T

Es necesario decir que, para el dimensionamiento de nuestras lagunas de estabilización, se decidió trabajar con áreas superficiales mayores a las resultantes en el cálculo, esto para lograr una mejor remoción en la DBO₅ Y los SST, pero sobre todo para disminuir los coliformes fecales que con base en varias iteraciones realizadas, sería la manera más factible de acercarnos a la concentración que nos establece la NOM-003-SEMARNAT-1997.

LAGUNA PRIMARIA

Cálculo de la carga superficial de la laguna primaria:

$$CSM = 357(1.085)^{T-20} = 357(1.085)^{26-20} = 801.27 \text{ Kg*DBO/ha*d}$$



$$T = 8.59 + 0.82T_a = 8.59 + 0.82(26) = 29.91^\circ\text{C}$$

Donde:

CSM = Carga orgánica superficial máxima aplicable, kg DBO/ha·d.

T = Temperatura ambiente, °C

Cálculo del área superficial de la laguna:

$$A = \frac{\text{DBO}_i \cdot Q}{\text{CSA}} = \frac{176.86 \cdot 191.46}{801.27} = 0.04 \approx 0.06 \text{ ha}$$

Donde:

A = Área superficial de la laguna, ha.

Q = Gasto, m³/d.

DBO_i = Concentración del contaminante en el influente, mg/L.

CSA = Carga orgánica superficial aplicada, kg DBO/ha·d.

Determinando el tiempo de retención de la laguna:

$$t = \frac{A \cdot h}{Q} = \frac{(0.6 \cdot 10000)2}{191.46} = 6.3 \approx 6.5 \text{ d}$$

Donde:

t = Tiempo de retención hidráulico, d.

h = Profundidad de la laguna, m.

Determinando el ancho y el largo de la laguna.

Proponiendo un ancho de 24 m

$$L = \frac{A}{W} = \frac{(0.6 \cdot 10000)}{24} = 25.2 \approx 25 \text{ m}$$

Donde:

W = Ancho del humedal, m.

L = Largo del humedal, m.

Cálculo de la carga volumétrica:

$$\text{COV} = \frac{\text{DBO}_i \cdot Q}{V} = \frac{176.86 \cdot 191.46}{1207.46} = 28.04 \text{ KgDBO/m}^3 \cdot \text{d}$$

Donde:

COV = Carga orgánica volumétrica, g DBO/m³·d.

V = Volumen de la laguna, m³.



Determinación de la carga orgánica superficial removida.

Contamos con una carga de entre 200 y 1158 Kg DBO/ha*d, por lo que utilizaremos la siguiente formula:

$$CSR = 7.67 + 0.8063CSA = 7.67 + 0.8063(801.27) = 653.73 \text{ kgDBO/ha*d}$$

Donde:

CSR = Carga orgánica superficial removida, kg DBO/ha-d.

Calculando la eficiencia de remoción.

$$E_1 = \frac{CSR}{CSA} = \frac{653.73}{801.27} = 0.82 = 82 \%$$

Donde:

E_1 = Eficiencia de remoción de la DBO, %.

Se calcula la carga orgánica del efluente de la laguna primaria:

$$CO_1 = DBO_1 * Q(100 - E_1)$$

$$CO_1 = 176.86 * 191.46 * 0.001 * (100 - 82) / 100 = 6.24 \text{ kgDBO/d}$$

Donde:

CO = Carga orgánica del efluente primario, kg DBO/d.

LAGUNA SECUNDARIA

Corrigiendo la carga orgánica del influente, tomando en cuenta que la relación de DBO total / DBO soluble es de 2.

$$CO_{ic} = CO_1 * \frac{DBO_{total}}{DBO_{soluble}} = 6.24 * 2 = 12.47 \text{ kg DBO/d}$$

Donde:

CO_{ic} = Carga orgánica del influente secundario, kg DBO/d.

Se adopta una carga superficial de diseño de 379 kg DBO/ha-d, (<379.99)

Área superficial de la laguna secundaria:

$$A = \frac{CO_{ic}}{CSA} = \frac{12.47}{379} = 0.03 \approx 0.05 \text{ ha}$$



Calculando el tiempo de retención hidráulico.

$$t = \frac{A \cdot h}{Q} = \frac{(0.05 \cdot 10000) \cdot 2}{191.46} = 4.91 \approx 5 \text{ d}$$

Determinando el ancho y el largo de la laguna secundaria.

Proponiendo un ancho de 21 m

$$L = \frac{A}{W} = \frac{(0.05 \cdot 10000)}{21} = 22.38 \approx 22.5 \text{ m}$$

Cálculo de la carga volumétrica.

$$COV = \frac{CO_{ic} \cdot Q}{V} = \frac{12.47 \cdot 191.46}{940.07} = 2.6 \text{ KgDBO/m}^3 \cdot \text{d}$$

Determinación de la carga orgánica superficial removida.

Contamos con una carga de 379 Kg DBO/ha*d, por lo que utilizaremos la siguiente formula:

$$CSR = -0.8 + 0.765 \cdot CSA = 0.8 + 0.765(379) = 289.135 \text{ kgDBO/ha} \cdot \text{d}$$

Calculando la eficiencia de remoción.

$$E_2 = \frac{CSR}{CSA} = \frac{289.135}{379} = 0.76 = 76 \%$$

Calculando la eficiencia global del sistema de tratamiento.

$$E = 1 - (1 - E_1) \cdot (1 - E_2) = 1 - (1 - 0.82) \cdot (1 - 0.76) = 0.96 = 96 \%$$

Se calcula la DBO del efluente secundario.

$$DBO_e = DBO_1 \cdot (1 - E) = 176.86 \cdot (1 - 0.96) = 8 \text{ mg/L}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO TERCIARIO

LAGUNAS DE MADURACIÓN

Tienen por objetivo lograr la eliminación de microorganismos patógenos, y también provocan cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

El siguiente cálculo se comenzara por determinar la densidad de coliformes fecales en el efluente de las dos lagunas de estabilización diseñadas anteriormente, esto para conocer la carga de coliformes fecales del influente en las lagunas de maduración para así mismo diseñarlas.

Datos:

- Temperatura de diseño = 26°C
- Tiempo de retención laguna primaria = 6.5 d
- Tiempo de retención laguna secundaria = 5 d

Con la siguiente tabla nos ayudaremos para obtener la constante K_b según el modelo a utilizar.

TABLA A.1 ECUACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE LA CONSTANTE K_b

ECUACIÓN	$K_{b, 20}$	AUTOR	MODELO
$K_{b,t} = 2.60 (1.19)^{T-20}$	2.60 d^{-1}	Marais	Mezcla completa
$K_{b,t} = 1.41 (1.40)^{T-20}$	1.41 d^{-1}	Ramírez	Mezcla completa – laguna primaria
$K_{b,t} = 3.27 (1.59)^{T-20}$	3.27 d^{-1}	Ramírez	Mezcla completa – laguna secundaria
$K_{b,t} = 1.10 (1.075)^{T-20}$	1.10 d^{-1}	Klock	Flujo pistón
$K_{b,t} = 0.41 (1.15)^{T-20}$	0.41 d^{-1}	Bowies	Flujo pistón – laguna primaria
$K_{b,t} = 0.36 (1.25)^{T-20}$	0.36 d^{-1}	Ramírez	Flujo pistón – laguna secundaria

De conformidad con la ecuación de Marais para mezcla completa, se utilizara:

$$K_{b,T} = 2.60(1.19)^{T-20} = 2.60(1.19)^{26-20} = 7.38 \text{ d}^{-1}$$

La densidad de coliformes fecales en el efluente de la laguna primaria, se calculara con la siguiente expresión:

$$N = \frac{N_o}{1+K_b\theta} = \frac{1.6 \times 10^9}{1+(7.38 \times 6.5)} = 3.2 \times 10^7 \text{ NMP/100mL}$$

La densidad de coliformes fecales en el efluente de la laguna secundaria, se calculara con la siguiente expresión:



$$N = \frac{N_o}{1+K_b\theta} = \frac{3.2 \times 10^7}{1+(7.38 \times 5)} = 8.6 \times 10^5 \text{ NMP/100mL}$$

Con objeto de que el agua residual tratada pueda ser utilizada en servicios al público con contacto directo, se debe cumplir con la NOM-003-SEMARNET-1996, la cual nos establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público deben ser de menores de 240 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml.

Dicho esto, se tiene que en las lagunas de maduración:

- Se plantea dimensiones iguales a la primera laguna de estabilización.
- La densidad de coliformes fecales en el influente de la laguna primaria será de 8.6×10^5 NMP/100mL.
- El tiempo de retención será de 6.5 d.
- La constante K_b para modelo de mezcla completa a utilizar será de 7.38 ^{-1}

Para asegurarnos que las características de nuestras lagunas de maduración son acepadas, calcularemos la carga de coliformes fecales que contendrá el efluente de nuestra segunda laguna de maduración.

La densidad de coliformes fecales en el efluente de la laguna primaria, se calcula con la siguiente expresión:

$$N = \frac{N_o}{1+K_b\theta} = \frac{8.6 \times 10^5}{1+(7.38 \times 6.31)} = 1.7 \times 10^4 \text{ NMP/100mL}$$

La densidad de coliformes fecales en el efluente de la laguna secundaria, se calcula con la siguiente expresión:

$$N = \frac{N_o}{1+K_b\theta} = \frac{1.7 \times 10^4}{1+(7.38 \times 6.31)} = 358.85 \text{ NMP/100mL}$$

El efluente si bien no cumple con lo especificado en la norma respecto a coliformes fecales, consideraremos aceptada la propuesta de construir dos lagunas de maduración con las siguientes características, esto se debe a que aunque se busca que cumpla con la NOM-003-SEMARNAT-1997, debemos estar conscientes que el efluente estará siendo vertido a un cuerpo de agua natural, por consiguiente la concentración de coliformes fecales resultante será aceptada.



TABLA A.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN

CARACTERÍSTICAS	LAGUNA DE MADURACIÓN PRIMARIA	LAGUNA DE MADURACIÓN SECUNDARIA
LARGO (m) =	25.00	25.00
ANCHO (m) =	24.00	24.00
PROFUNDIDAD (m) =	2.00	2.00
TIEMPO DE RETENCIÓN (d) =	6.5	6.5
DENSIDAD DE COLIFORMES FECALES EN EL EFLUENTE (NMP/100mL) =	1.7X10 ⁴ NMP/100mL	358.85 NMP/100mL

VERTEDOR TRIANGULAR

El vertedor triangular será el dispositivo medidor del efluente a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se calcula de acuerdo al tirante sobre el vertedor.

Datos:

- Ángulo del vertedor (A) = 60°
- $C = 1.34 * \tan(A/2) = 0.77365$
- $h = 0.20 \text{ m}$

La fórmula base para el diseño del vertedor triangular es:

$$Q = C * h^{2.5}$$

Donde:

Q = Gasto, m³/s.

C = Constante C

h = Tirante sobre el vertedero, m.

Determinando las dimensiones del vertedor

Proponiendo:

Ancho del canal (B) = 0.75 m

Longitud vertical del vertedero (Hv) = 1.00 m

Relación h / P = 0.33 < 1.2

Calculando:

$h/B = 0.27 < 0.4$ se aceptan las dimensiones



$$P = \frac{0.2}{(h/P)} = \frac{0.20}{0.33} = 0.61 \text{ m}$$

$$y = H_v - P = 1 - 0.61 = 0.39 \text{ m}$$

$$L = [y * (\tan A/2)] * 2 = [0.39 * (\tan 60/2)] * 2 = 0.45 \text{ m}$$

$$LH = \frac{B-L}{2} = \frac{0.75-0.45}{2} = 0.15 \text{ m}$$

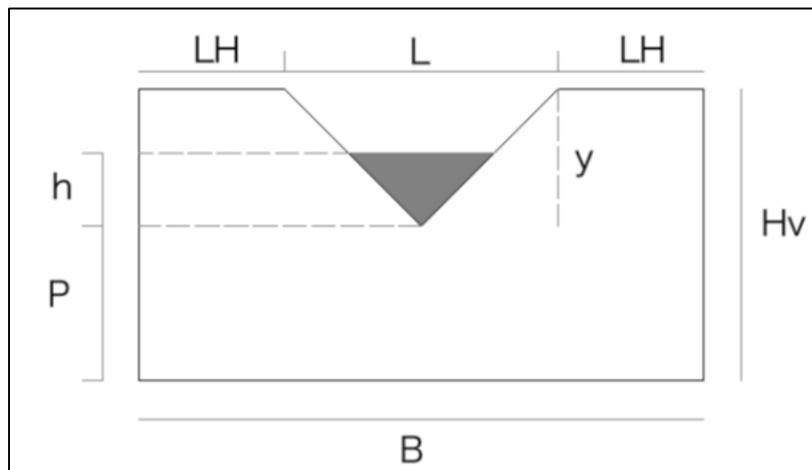


FIGURA A-1 ESQUEMA DE CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDOR TRIANGULAR

El gasto que pasará a través del dispositivo de medición se muestra a continuación:

TABLA A.3 GASTOS EN EL VERTEDOR

h(m)	Q(M ³ /S)	Q(L/S)
0.005	1.36763E-06	0.001
0.01	7.7365E-06	0.008
0.02	4.37643E-05	0.044
0.03	0.00012	0.121
0.04	0.00025	0.248
0.05	0.00043	0.432
0.06	0.00068	0.682
0.08	0.00140	1.400
0.1	0.00245	2.446
0.11	0.00310	3.105



0.12	0.00386	3.859
0.13	0.00471	4.714
0.14	0.00567	5.674
0.15	0.00674	6.742
0.16	0.00792	7.922
0.17	0.00922	9.219
0.18	0.01063	10.635
0.19	0.01217	12.174
0.20	0.01384	13.839

Como se puede observar en la Tabla A.3 el gasto de diseño de 8.399 L/s se logra en los 0.17 m del tirante sobre el vertedor triangular.

DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE LODOS

DESHIDRATACIÓN DE LODOS

Con el objetivo de reducir el contenido de agua, en los lodos provenientes del tanque séptico, para disponerlos como fertilizante, se utilizarán los lechos de secado.

Los lechos tendrán una capa de arena de un diámetro de 0.4 a 0.6 mm y un coeficiente de uniformidad menor a 4; el espesor de la capa será de 30 cm.

La capa de arena descansará sobre una capa de grava de un diámetro de 10 a 15 mm, con un espesor de 30 cm. Sobre ambas capas se distribuye los lodos con un espesor de 20 cm, para producir pérdida de agua por medio de drenado y evaporación.

Datos:

Población (PP) = 1035 habitantes.

Aportación de sólidos (AS) = 49 gr SS / hab·d

Tiempo de retención = 35 d.

Espesor de la capa de lodo = 0.20 m.

Determinando la carga de sólidos que ingresa al tanque séptico.

$$C = PP \cdot AS = \frac{1035 \cdot 49}{1000} = 50.715 \text{ kgSS / d}$$

Donde:

C = Carga de sólidos, kg SS/d.

PP = Población Proyecto



AS = Aportación de sólidos, gr SS/hab·d.

Calculando la masa de sólidos que conforman los lodos.

$$Msd = (0.5*0.7*0.5*C)+(0.5*0.3*C)$$

$$Msd = (0.35*0.5*50.715)+(0.5*0.3*50.715)$$

$$Msd = 16.482 \text{ kgSS/d}$$

Donde:

Msd = Masa de sólidos, kg SS/d.

C = Carga de sólidos, kg SS/d.

Determinando el volumen diario de lodos.

$$Vld = \frac{Msd}{p * \left(\frac{S}{100}\right)} = \frac{16.482}{1.04 * \left(\frac{9}{100}\right)} = 176.094 \text{ L/d}$$

Donde:

Vld = Volumen diario de lodos, L/d.

Msd = Masa de sólidos, kg SS/d.

p = Densidad de los lodos, 1.04 kg/L.

%S = % de sólidos contenido en el lodo, varía entre 8 a 12%.

Calculando el volumen de lodos a extraerse del tanque.

$$Vel = \frac{Vld * Tr}{1000} = \frac{176.094 * 35}{1000} = 6.163 \text{ m}^3$$

Donde:

Vel = Volumen de lodos a extraerse del tanque, m³.

Vld = Volumen diario de lodos, L/d.

- Determinando el área superficial necesaria del lecho de secado.



$$Als = \frac{Vel}{h} = \frac{6.163}{0.20} = 30.8 \text{ m}^2$$

Donde:

Als = Área del lecho de secado, m².

h = Profundidad de aplicación, entre 0.20 a 0.40 m.

Proponiendo 2 lechos de secado de lodos

$$Als = \frac{Als}{\text{No. de unidades}} = \frac{30.8}{2} = 15.4 \text{ m}^2$$

Proponiendo un ancho del lecho de 4.00 m

$$L = \frac{Als}{b} = \frac{15.4}{4} = 3.85 = 4.00 \text{ m}$$

Donde:

b = Ancho del lecho de secado, m.

L = Longitud del lecho de secado, m.

Revisando la Carga Superficial de sólidos.

Si $120 < CS < 200 \text{ kgSS/m}^2 \cdot \text{año}$ se aceptan las dimensiones del lecho

$$Cs = \frac{Msd \cdot 365}{Als} = \frac{16.482 \cdot 365}{30.8} = 195.22 \text{ kgSS/m}^2 \cdot \text{año}$$

Como resultado se instalarán 2 lechos de secado de lodos con pendiente en el fondo del 2%, ancho de 4.00 m por 4.00 m de longitud y profundidad de 1.20 m.



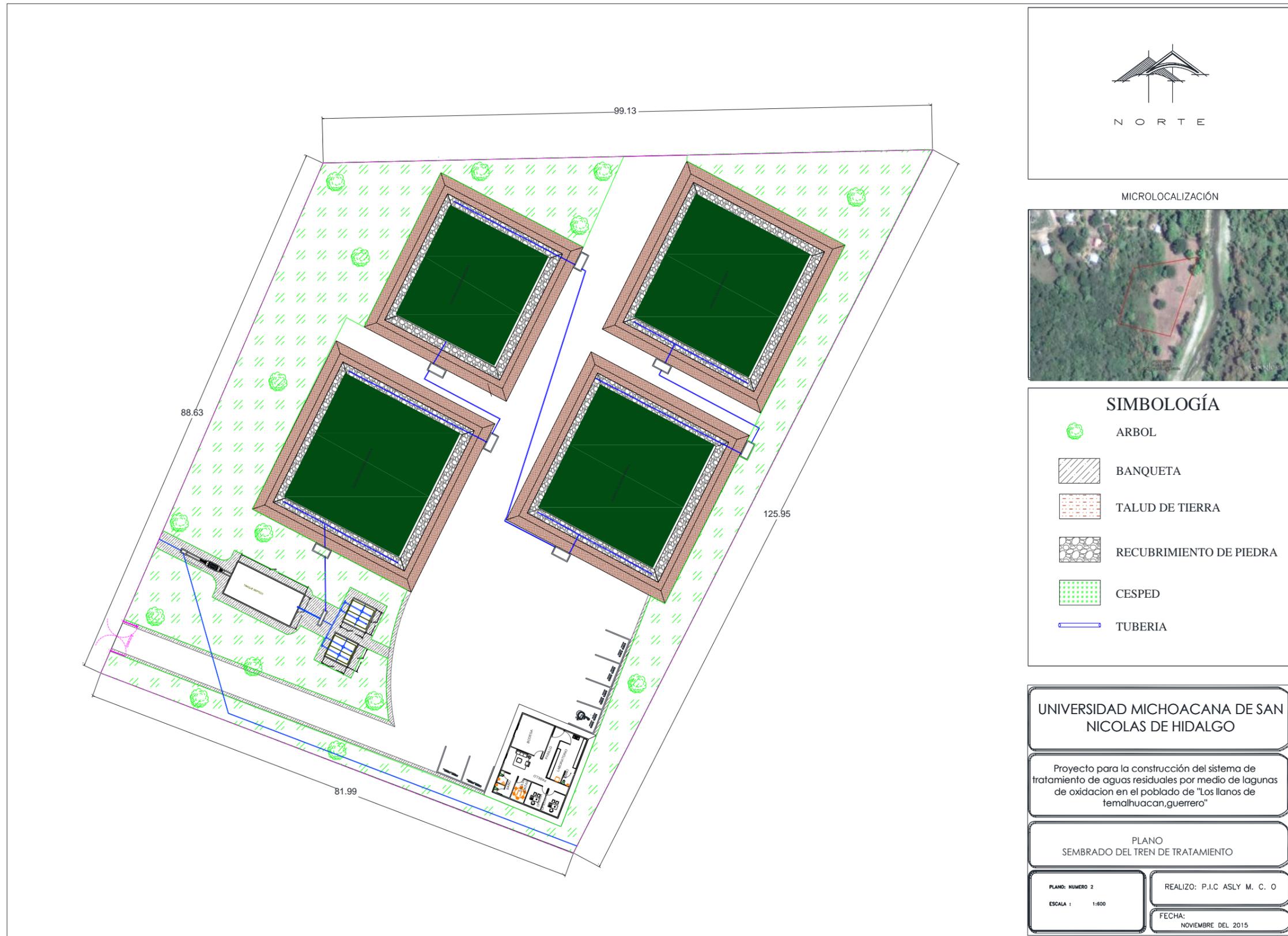
RESUMEN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA PTAR

TABLA A.4 RESUMEN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA PTAR

Pretratamiento					
Tipo de canal	Q_{diseño}(L/s)	No. de unidades	Ancho(m)	Profundidad(m)	Longitud(m)
Cribado grueso	8.40	1.00	0.30	0.35	3.00
Desarenador	8.40	2.00	0.30	0.45	4.20
Tratamiento Primario					
Tipo de canal	Q_{diseño}(L/s)	No. de unidades	Ancho(m)	Profundidad(m)	Longitud(m)
Tanque séptico	2.45	1.00	5.50	3.00	12.00
Tratamiento Secundario(Lagunas de estabilización)					
Unidad de tratamiento	Q_{diseño}(L/s)	No. de unidades	Ancho(m)	Profundidad(m)	Longitud(m)
Laguna Primaria	2.45	1.00	24.00	2.00	25.00
Laguna Secundaria	2.45	1.00	21.00	2.00	22.50
Tratamiento Terciario(Lagunas de maduración)					
Unidad de tratamiento	Q_{diseño}(L/s)	No. de unidades	Ancho(m)	Profundidad(m)	Longitud(m)
Laguna Primaria	2.45	1.00	24.00	2.00	25.00
Laguna Secundaria	2.45	1.00	24.00	2.00	25.00
Tratamiento de Lodos					
Unidad de Tratamiento	No. de unidades		Ancho(m)	Profundidad(m)	Longitud(m)
Lechos de secado	2.00		4.00	1.20	4.00

ANEXO B





MICROLOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

-  ARBOL
-  BANQUETA
-  TALUD DE TIERRA
-  RECUBRIMIENTO DE PIEDRA
-  CESPED
-  TUBERIA

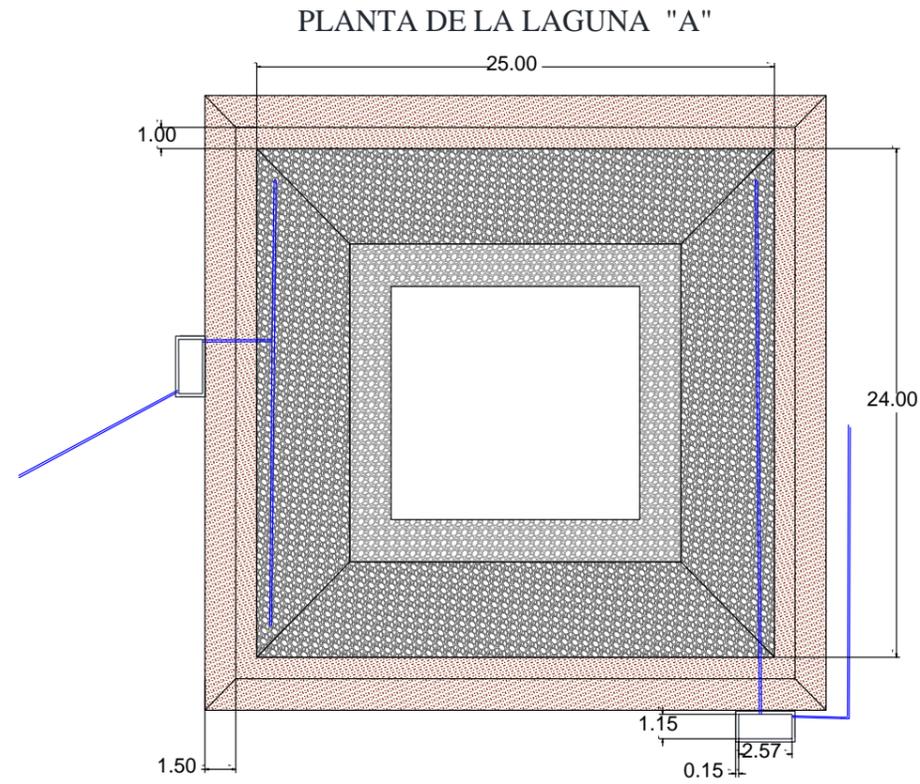
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Proyecto para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de oxidación en el poblado de "Los llanos de temalhuacan,guerrero"

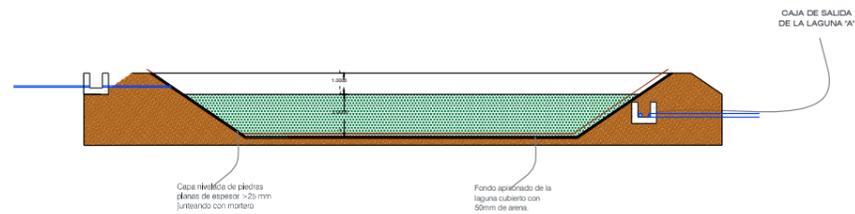
PLANO SEMBRADO DEL TREN DE TRATAMIENTO

PLANO: NUMERO 2
ESCALA : 1:600

REALIZO: P.I.C ASLY M. C. O
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2015



PERIL GENERAL DE LA LAGUNA "A"



MACROLOCALIZACIÓN



MICROLOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- TUBERÍA
- CAPA DE PIEDRA PLANA >25mm
- CAPA DE ARENA, D= 50mm
- SUELO NATURAL

DATOS DEL PROYECTO

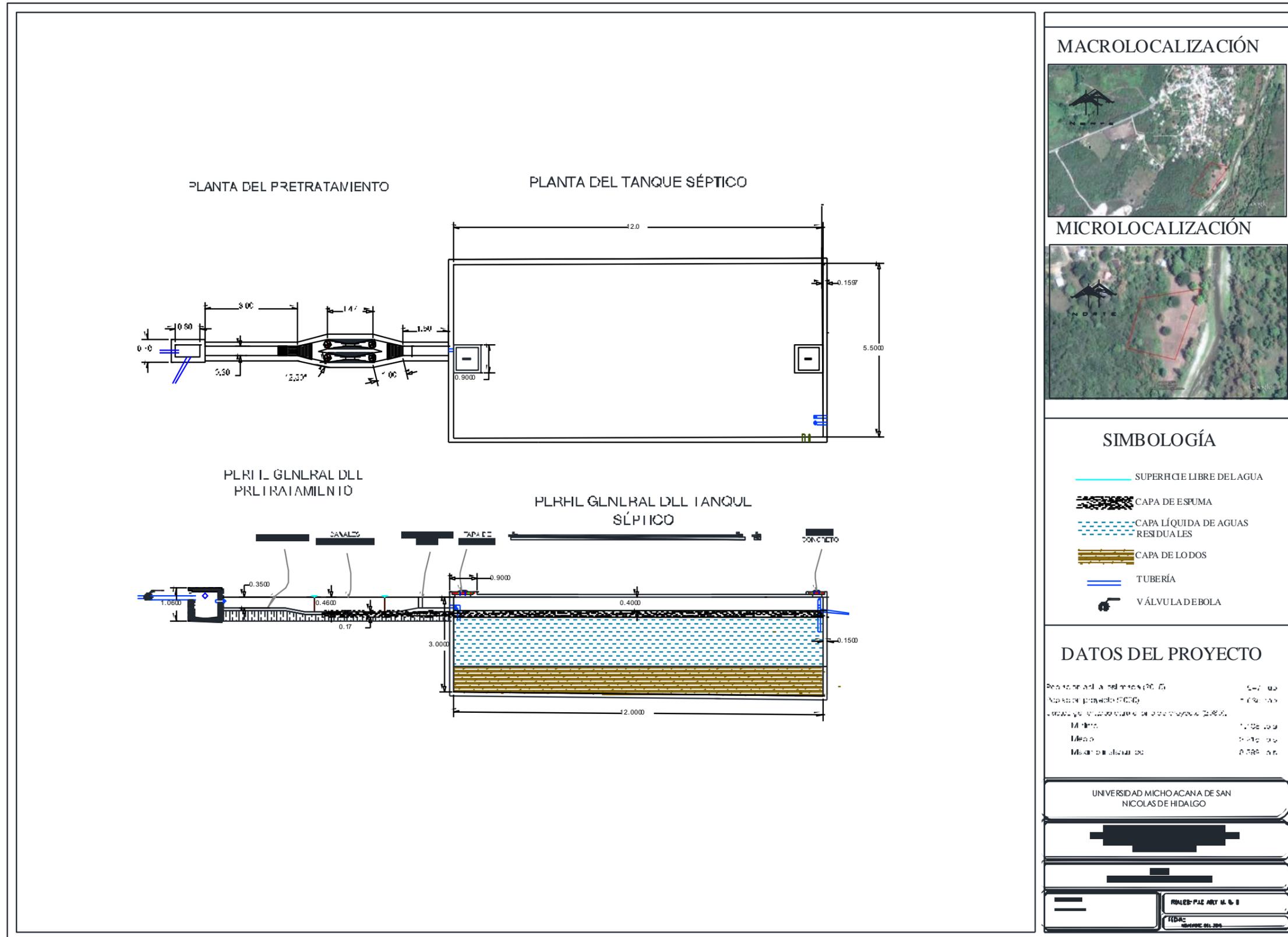
Población: actual estimada (2015)	947 hab.
Población: proyecto (2030)	1,035 hab.
Gastos generados para el año de proyecto (2030):	
Mínimo	1,108 l.p.s.
Medio	2,216 l.p.s.
Máximo Instantáneo	8,399 l.p.s.

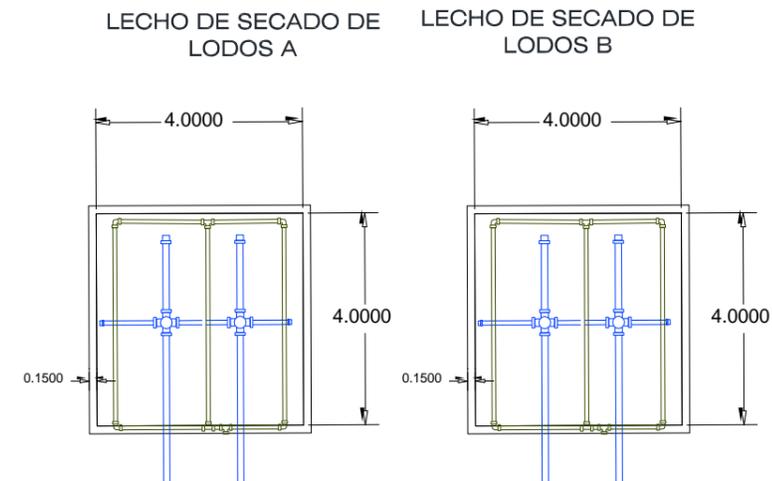
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Proyecto para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de oxidación en el poblado de "Los llanos de Temalhuacán, Guerrero"

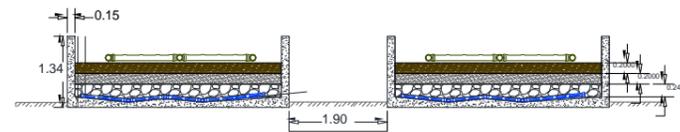
PLANO
PERFIL GENERAL DE LA LAGUNA "A"

PLANO NÚMERO: 1-001	REALIZÓ: P.J.C ASLY M. C. O.
FECHA: 11/09/2015	





PERFIL GENERAL DE LOS LECHOS DE SECADO



MACROLOCALIZACIÓN



MICROLOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- TUBERÍA
- TUBERÍA
- AGREGADO PÉTREO GRUESO
- CAPA DE LODOS
- ENROCAMIENTO
- BANQUETA

DATOS DEL PROYECTO

Población actual estimada (2015)	947 hab.
Población proyecto (2030)	1,035 hab.
Gastos generados para el año de proyecto (2030):	
Mínimo	1.108 l.p.s.
Medio	2.216 l.p.s.
Máximo instantáneo	8.399 l.p.s.

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Proyecto para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de oxidación en el poblado de "Los llanos de Temalhuacán, Guerrero"

PLANO PLANTA Y PERFIL GENERAL DE LECHOS DE SECADO

PLANO NUMERO:	REALIZO: P.I.C ASLY M. C. O
ESCALA: 1:1	FECHA: NOVIEMBRE DEL 2015