



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS
E INGENIERÍA**

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MANEJO
INTEGRAL DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE
TECOCOMULCO EN EL ESTADO DE HIDALGO”**

M O N O G R A F Í A

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

PRESENTA:

PEDRO ÁLVAREZ ORTIZ

DIRECTOR:

MTRO. JAIME LÓPEZ VERDE

OCTUBRE 2010

Agradecimientos:

A Dios:

Le agradezco por tener la oportunidad de llegar a vivir este momento.

A mis padres y hermanos:

Por el gran apoyo moral, económico y anímicamente que me han brindado durante los años de mi preparación, por ser los inspiradores para lograr el triunfo en mi vida y sobre todo por creer en mi.

A mis familiares y amigos:

Por el apoyo que me brindaron cuando necesite de ustedes.

A mi esposa y a mi hija:

Gracias amor por el apoyo incondicional brindado por ser la fuente de mi superación. Hija mía este trabajo es para ti. Ustedes dos son los grandes tesoros de mi vida y por ustedes buscare mayor superación en la vida. Las amo mis preciosas.

A mis maestros y en especial a mi directora:

Por ser la fuente de conocimientos que inspira en los estudiantes seguir superándose en la vida y tener las herramientas necesarias para ser personas de bien en este mundo.

Pedro Álvarez Ortiz.

Índice

Página

| | |
|--|----|
| Índice | 3 |
| Índice de figuras | 7 |
| Índice de cuadros | 9 |
| Introducción | 11 |
| Justificación | 14 |
| Objetivo | 15 |
| Objetivos específicos | 16 |
| Metodología | 17 |
| Capítulo Uno | 21 |
| Antecedentes básicos de la cuenca de la laguna de Tecocomulco, Hidalgo | 21 |
| 1.1 Cuenca hidrográfica | 21 |
| 1.2 Funciones de la cuenca | 22 |
| 1.2.1 Función hidrológica | 22 |
| 1.2.2 Función ecológica | 22 |
| 1.2.3 Función socioeconómica | 22 |
| 1.3 Tipos de cuencas | 23 |
| 1.4 Tipos de corrientes | 26 |
| 1.5 Características morfológicas de la cuenca | 27 |
| 1.6 Descripción de las clases de suelo | 27 |
| 1.7 Caracterización de la cuenca Tecocomulco | 30 |
| 1.7.1 Localización, extensión y colindancias | 30 |
| 1.8 Relieve y geología | 33 |
| 1.9 Uso de suelo, vegetación y clases de suelo por subcuencas | 34 |

| | | |
|--|--|----|
| 1.9.1 | Subcuenca Santa Ana Chichicuautila_____ | 34 |
| 1.9.2 | Subcuenca Corralillos _____ | 35 |
| 1.9.3 | Subcuenca San Miguel Allende _____ | 36 |
| 1.9.4 | Subcuenca Cuatlaco _____ | 36 |
| 1.9.5 | Subcuenca El Tepozán _____ | 37 |
| 1.9.6 | Subcuenca Cocinillas_____ | 38 |
| 1.9.7 | Subcuenca Tezoyo _____ | 38 |
| 1.10 | Clima _____ | 39 |
| 1.11 | Precipitación_____ | 40 |
| 1.12 | Temperatura_____ | 41 |
| 1.13 | Importancia de la Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco | 43 |
| Capítulo dos_____ | | 48 |
| Problemática existente sobre la cuenca de la laguna de Tecocomulco _____ | | 48 |
| 2.1 | Factores que afectan a una cuenca hidrológica _____ | 48 |
| 2.2 | Erosión _____ | 49 |
| 2.2.1 | Tipos de erosión _____ | 50 |
| 2.2.2 | Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica_____ | 51 |
| 2.2.3 | Formas de erosión _____ | 52 |
| 2.3 | Tenencia de la tierra _____ | 56 |
| 2.3.1 | Tipos de tenencia_____ | 57 |
| 2.3.2 | Superficie ejidal _____ | 57 |
| 2.3.3 | Superficie de propiedad privada _____ | 58 |
| 2.4 | Actividades turísticas _____ | 58 |
| 2.5 | Contaminación _____ | 61 |
| 2.5.1 | Proceso de muestreo_____ | 64 |
| 2.5.2 | Resultados del análisis _____ | 65 |
| 2.5.3 | Análisis de resultados _____ | 67 |
| 2.6 | Deforestación _____ | 68 |

| | |
|---|-----|
| Capítulo tres | 70 |
| Temática de solución de la cuenca de Tecocomulco en cuanto a erosión | 70 |
| 3.1 Introducción | 70 |
| 3.2 Implementación de prácticas preventivas | 70 |
| 3.2.1 Implementación de labranza de conservación | 71 |
| 3.2.2 Manejo de los residuos de cosecha | 74 |
| 3.2.3 Agroforestería | 76 |
| 3.2.4 Terrazas individuales | 79 |
| 3.2.5 Zanjas trinchera o tinas ciegas | 82 |
| 3.2.6 Exclusión al pastoreo | 84 |
| 3.3 Implementación de prácticas correctivas | 87 |
| 3.3.1 Represas de piedra acomodada para controlar cárcavas | 87 |
| 3.3.2 Presas de gaviones | 91 |
| Capítulo cuatro | 95 |
| Propuesta de solución a los problemas de actividades turísticas | 95 |
| 4.1 Introducción | 95 |
| 4.2 Propuesta de proyectos alternativos para la explotación de la cuenca de Tecocomulco | 99 |
| 4.2.1 Engorda de carpa en estanques | 99 |
| 4.2.2. Engorda de rana toro | 105 |
| Capítulo cinco | 118 |
| Planteamiento de solución a los problemas de contaminación por aguas residuales | 118 |
| 5.1 Introducción | 118 |
| 5.2 Elaboración del estudio para la implementación de un humedal artificial | 119 |
| 5.2.1 Diseño, construcción, operación y selección del proyecto de humedal artificial | 120 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.2.2 | Diseño general del sistema _____ | 123 |
| 5.2.3 | Cálculos _____ | 125 |
| 5.2.4 | Instalaciones y fases de tratamiento _____ | 127 |
| 5.3 | Implementación de baños secos _____ | 148 |
| 5.3.1 | Tipos de baños secos _____ | 149 |
| | Conclusiones _____ | 157 |
| | Referencias Bibliográficas _____ | 159 |
| | Glosario _____ | 162 |
| | Anexos _____ | 167 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 1. 1 Partes en que se divide una cuenca. _____ | 21 |
| Fig. 1. 2 Flujograma de una cuenca a través de las escorrentías. _____ | 23 |
| Fig. 1. 3 Cuenca arréica o cerrada. _____ | 24 |
| Fig. 1. 4 Cuenca criptorréica. _____ | 24 |
| Fig. 1. 5 Cuenca endorréica o lacustre. _____ | 25 |
| Fig. 1. 6 Cuenca exorréica o abierta. _____ | 25 |
| Fig. 1. 7 Clasificación de una cuenca de acuerdo a su tamaño. _____ | 26 |
| Fig. 1. 8 Localización de la cuenca de la laguna de Tecocomulco, Hgo. _____ | 31 |
| Fig. 1. 9 Delimitación y área comprendida por la cuenca Tecocomulco. _____ | 32 |
| Fig. 1. 10 Drenaje de la laguna de Tecocomulco. _____ | 33 |
| Fig. 1. 11 Comportamiento de la precipitación media mensual en la cuenca Tecocomulco. _____ | 41 |
| Fig. 1. 12 Comportamiento de la temperatura media mensual en la cuenca Tecocomulco. _____ | 43 |
| | |
| Fig. 2. 1 Mecánica de la erosión hídrica. _____ | 50 |
| Fig. 2. 2 Muestra de erosión acelerada en la cuenca. _____ | 51 |
| Fig. 2. 3 Erosión por salpicado de la lluvia. _____ | 51 |
| Fig. 2. 4 Procesos que intervienen en la de erosión hídrica. _____ | 52 |
| Fig. 2. 5 Erosión Laminar. _____ | 52 |
| Fig. 2. 6 Erosión en canalillos. _____ | 53 |
| Fig. 2. 7 Erosión en cárcavas. _____ | 53 |
| Fig. 2. 8 Erosión remontante. _____ | 54 |
| Fig. 2. 9 Mapa donde se refleja el conflicto de tenencia de la tierra. _____ | 60 |
| Fig. 2. 10 Zonas de muestreo de agua. _____ | 65 |
| Fig. 2. 11 Muestra de la deforestación en la cuenca para el cambio de uso de suelo. _____ | 69 |
| | |
| Fig. 3. 1 Labranza en camellones. _____ | 71 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 3. 2 Labranza en franjas. _____ | 72 |
| Fig. 3. 3 Labranza de cobertera. _____ | 72 |
| Fig. 3. 4 Labranza cero o no labranza. _____ | 73 |
| Fig. 3. 5 Manejo post-cosecha _____ | 74 |
| Fig. 3. 6 Diseño de terraza individual. _____ | 80 |
| Fig. 3. 7 Diseño y construcción de terrazas. _____ | 81 |
| Fig. 3. 8 Vistas de las terrazas individuales en planta _____ | 82 |
| Fig. 3. 9 Zanjas trinchera. _____ | 83 |
| Fig. 3. 10 Pradera bajo manejo. _____ | 84 |
| Fig. 3. 11 Área de aptitud ganadera _____ | 85 |
| Fig. 3. 12 Cercado de área para exclusión de pastoreo _____ | 86 |
| Fig. 3. 13 Sección transversal y longitudinal de una presa. _____ | 90 |
| Fig. 3. 14 Muestra de un gavión. _____ | 91 |
| Fig. 3. 15 Construcción de la presa de gaviones _____ | 94 |
| | |
| Fig. 4. 1 Espécimen de carpa espejo. _____ | 100 |
| Fig. 4. 2 Espécimen de rana toro (rana catesbeiana). _____ | 106 |
| Fig. 4. 3 Principales canales de comercialización para la Rana Toro _____ | 108 |
| | |
| Fig. 5. 1 Detalle de las rejillas utilizadas en el canal de pretratamiento _____ | 128 |
| Fig. 5. 2 Canal de Pretratamiento y pozo de distribución. _____ | 130 |
| Fig. 5. 3 Diseño de los tanques sépticos. _____ | 133 |
| Fig. 5. 4 Diseño de las celdas de tratamiento biológico (humedales). _____ | 135 |
| Fig. 5. 5 Arreglo de las estructuras de entrada y salida. _____ | 138 |
| Fig. 5. 6 Ejemplo de un tubo perforado para aireación del humedal _____ | 139 |
| Fig. 5. 7 Detalle del anclaje de la geomembrana. _____ | 140 |
| Fig. 5. 8 Typha sp _____ | 143 |
| Fig. 5. 9 Diferencias mínimas de elevación en el sistema de tratamiento de humedales _____ | 145 |
| Fig. 5. 10 Distribución del sistema completo. _____ | 146 |

Índice de cuadros

| | |
|---|-----|
| Cuadro 1. 1 Temperatura y precipitación media anual de la cuenca Tecocomulco. | 42 |
| Cuadro 2. 1 Superficies y grados de erosión por subcuencas. | 55 |
| Cuadro 2. 2 Resultado del análisis de agua. | 66 |
| Cuadro 2. 3 Resultado del análisis microbiológico. | 66 |
| Cuadro 2. 4 Resultado del análisis fisicoquímico básico. | 67 |
| Cuadro 3. 1 Costos de establecer un sistema de labranza de conservación. | 75 |
| Cuadro 3. 2 Costos de construcción de terrazas de formación sucesiva. | 82 |
| Cuadro 3. 3 Costos para la producción de zanjas trinchera. | 84 |
| Cuadro 3. 4 Parámetros recomendados para actividad de exclusión de pastoreo | 86 |
| Cuadro 3. 5 Presupuesto para la construcción de una presa de piedra acomodada. | 90 |
| Cuadro 3. 6 Características de la malla de alambre | 92 |
| Cuadro 3. 7 Medidas comerciales de los gaviones. | 92 |
| Cuadro 3. 8 Costos por metro cúbico de una presa de gaviones. | 94 |
| Cuadro 4. 1 Censo de organizaciones establecidas alrededor de la laguna con giro turístico 2008 | 97 |
| Cuadro 4. 2 Necesidades de infraestructura y equipo para la producción de carpa | 104 |
| Cuadro 4. 3 Demanda potencial de la Rana Toro en México. | 107 |
| Cuadro 4. 4 Factores de riesgo en la producción de rana toro | 110 |
| Cuadro 4. 5 Condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo de Rana Toro | 111 |
| Cuadro 4. 6 Gráfica de Gantt para expresar el ciclo productivo de rana toro | 112 |
| Cuadro 4. 7 Requerimientos para la construcción del invernadero | 117 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 5. 1 Parámetros característicos del tratamiento del agua _____ | 124 |
| Cuadro 5. 2 Parámetros de diseño para la construcción del humedal _____ | 124 |
| Cuadro 5. 3 Normas de diseño de las rejillas de barras. _____ | 128 |
| Cuadro 5. 4 Características principales del canal de pretratamiento. _____ | 131 |
| Cuadro 5. 5 Características del pozo de distribución _____ | 131 |
| Cuadro 5. 6 Medidas y características del tanque séptico. _____ | 132 |
| Cuadro 5. 7 Características de las celdas de tratamiento. _____ | 136 |
| Cuadro 5. 8 Dimensiones del tanque de almacenamiento del agua tratada _ | 137 |
| Cuadro 5. 9 Características de la membrana impermeabilizante por humedal | 140 |
| Cuadro 5. 10 Movimientos de tierra que se requerirán para la construcción del humedal _____ | 144 |
| Cuadro 5. 11 Programa de inversiones de obra civil e infraestructura en orden de construcción _____ | 147 |
| Cuadro 5. 12 Costos por tubería y conexiones. _____ | 148 |
| Cuadro 5. 13 Resumen de costos. _____ | 148 |

Introducción

La destrucción de los recursos naturales renovables ha venido degradando el territorio mexicano, de igual forma la degradación de los diferentes ecosistemas se ha visto afectada. Un punto muy importante que ha generado esta situación es el aumento de zonas agrícolas irregulares, ubicadas en regiones donde su riqueza ambiental no se centra en la siembra. Esto ha generado la erosión de la tierra, la sedimentación y contaminación de los vasos de almacenamiento de agua.

La degradación ambiental, provoca cambios climatológicos y fenómenos hidrometeorológicos extremos de sequía, que provocan la disminución del agua disponible para sus diferentes usos. Situación que obliga a desarrollar técnicas y establecer procedimientos, que efficienten considerablemente el aprovechamiento y uso de estos recursos.

Por lo anterior instituciones de educación superior, los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), organismos no gubernamentales y la población en general; vinculados con el tema de recursos naturales, buscan coordinar y concertar planes, proyectos y acciones para su regulación, cuidado, desarrollo y aprovechamiento, al considerar premisas básicas como:

- El desarrollo del país debe darse en un marco de sustentabilidad ambiental.
- El agua es un recurso estratégico de seguridad nacional.
- El manejo de los recursos naturales debe ser de manera integral.
- Las decisiones sean con la participación de los usuarios a nivel local.

La cuenca de Tecocomulco se encuentra en la parte sureste del estado. Dentro del Estado de Hidalgo es la zona con más problemas acuíferos.

Las construcciones sin la adecuada ubicación de drenajes públicos, provoca la contaminación del agua al descargar directamente a canales que desfogan en la cuenca; para las comunidades es más fácil realizarlo de esta manera, que conectarse al drenaje público e inclusive hay poblaciones cercanas a la laguna, donde no existe este servicio. La contaminación generada por los habitantes, debido a la falta de conciencia al momento de deshacerse de sus residuos, ha ocasionado que se vayan disminuyendo cantidades de captación de agua pura.

Las condiciones de vida que proporciona la cuenca a los pobladores, se considera económicamente activa por la construcción de un centro turístico, que origina la obtención de recursos económicos con la venta de las especies extraídas de la laguna, pero debido a la afectación que existe, se corre el riesgo de verse perjudicados en la disminución de sus ingresos.

Es importante considerar la deforestación y extinción de especies de flora (las de mayor relevancia son el sabino y encino), debido a que provoca la disminución de la recarga hídrica y dificulta la captación de oxígeno. La pérdida de fauna propia de la región como el ajolote, el pato mexicano y la rana moctezumae, han afectado las condiciones climáticas y la belleza del paisaje otorgado por la naturaleza.

Debido a toda esta problemática, surge la necesidad de generar un sistema integral de manejo de cuenca de la laguna de Tecocomulco, cuyo objetivo será: “incrementar el nivel ecológico dentro de las diversas facetas que integran la cuenca e incrementar un nivel económico, social y cultural a los pobladores”.

El siguiente trabajo de investigación se apoya en los siguientes conceptos:

En la parte que integra el primer capítulo, se presenta la definición y clasificación de una cuenca; se describe los antecedentes geográficos, hidrológicos, climáticos, caracterización, localización, relieve y geología de la cuenca de la laguna de Tecocomulco ubicada en el Estado de Hidalgo y la importancia de la permanencia de la Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco.

En el segundo capítulo, se da a conocer la problemática existente por factores como: la erosión, actividades turísticas, contaminación y deforestación en la cuenca de la laguna de Tecocomulco, Hgo.

En el capítulo tres se identifican las propuestas de solución enfocadas a la erosión; mediante la aplicación de prácticas preventivas y correctivas, de esta manera generar condiciones que logren la restauración de la cuenca de Tecocomulco.

En el capítulo cuatro se analiza la implementación de 2 propuestas encaminadas a incrementar las actividades turísticas en las comunidades de Tecocomulco, Vista Hermosa y Cocinillas; poblaciones que rodean la laguna y actualmente no cuentan con esta actividad.

En el capítulo cinco se propone la aplicación de dos técnicas para solucionar la problemática actual de contaminación por aguas residuales que afecta a la laguna, como son: aplicación de baños secos e implementación de un humedal artificial.

Justificación

En el antiguo Valle de México existió una zona de gran relevancia, actualmente conocida como la laguna de Tecocomulco y su cuenca, localizada en la parte sureste del Estado de Hidalgo. Esta zona adquirió su importancia por la gran cantidad de especies que se reproducen y los servicios ambientales que presta a sus habitantes, beneficiando de igual forma sus alrededores.

Actualmente este lugar debido a acciones como: contaminación, deforestación y tala de árboles realizadas por la población, han degradado el entorno físico de manera notable en la parte alta de la cuenca, originando que se extienda, aunque en menor proporción hacia las partes medias y bajas de la laguna. Con esta degradación se corre el riesgo de extinción de especies animales, las cuales sirven como una variedad gastronómica, fomentando las actividades turísticas. También algunas especies de flora como el sabino y el encino que ayudan a la recarga de mantos acuíferos sufren el mismo peligro.

A lo antes expuesto es necesario buscar alternativas de solución, que permitan integrar un conjunto de procesos que den un mejor funcionamiento a la laguna de Tecocomulco, recuperando las especies de flora y fauna que están en peligro de extinción, la restauración de los recursos naturales que se encuentran en la zona, regenerar el entorno físico y ecológico, así como, la forma de vida de los vecinos, incrementando con ello el nivel económico de los pobladores.

Objetivo

El presente trabajo de investigación, se enfoca en generar un sistema de manejo integral de la cuenca de la laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo, mediante la implementación de proyectos que establezcan las condiciones adecuadas para la restauración y preservación de los recursos naturales afectados, de esta forma lograr un incremento en el nivel ecológico y económico de los pobladores.

Objetivos específicos

- Detener la degradación originada por la erosión existente en la cuenca de la laguna de Tecocomulco.
- Buscar con la ayuda de propuestas aplicables a la zona, restaurar las condiciones de la flora y fauna con peligro de extinción.
- Generar un mejor aprovechamiento de las especies destinadas a las actividades turísticas.
- Proponer acciones que contribuyan a la preservación de los recursos naturales existentes en la cuenca.
- Generar una mejor calidad de vida económica y ecológica de los pobladores, aprovechando de manera consiente los recursos que se encuentran en la cuenca.
- Cambiar algunos hábitos considerados negativos en la población para obtener un mayor cuidado del medio ambiente.

Metodología

El presente proyecto de investigación se desarrollo de manera documental, a través de recopilación de información existente en libros, revistas, periódicos, estadísticas, tesis, monografías, investigaciones publicadas e internet; extrayendo artículos o párrafos que permitieron retroalimentar y enriquecer los conocimientos sobre la cuenca de la laguna de Tecocomulco.

La delimitación del trabajo, se realizó únicamente en la zona que se tiene identificada y delimitada para la cuenca de Tecocomulco, de acuerdo a lo establecido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en lo referente al área de cuencas.

Una vez seleccionada la zona de trabajo se procedió a la selección de los temas acordes a la estructura que se requiere, para dar la correcta forma al trabajo; apoyada en la teoría de estudios descriptivos para la información obtenida.

Al identificar las características actuales, existentes en la laguna de Tecocomulco y su cuenca, por medio de un estudio documental, se procedió a la revisión de manera física, para el reconocimiento de los parámetros de estudio en la zona.

De igual manera se aprovechó mi experiencia obtenida como parte integrante de la Gerencia Operativa de la Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco; organismo que depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Las actividades consistieron en trabajar de manera directa con la gente que habita la cuenca, identificar las oportunidades de crecimiento que existen y aprovechar las condiciones ambientales que se presentan, con el objetivo de realizar proyectos productivos que busquen elevar la calidad de vida y cantidad de ingresos en la población; rescatar especies en peligro de

extinción y lograr un mejor aprovechamiento de los recursos existentes en la cuenca.

Una vez identificada la problemática se determinaron cinco líneas de acción, que son: la erosión, tenencia de la tierra, actividades turísticas, contaminación y deforestación en la cuenca de Tecocomulco; además se buscan diferentes propuestas de solución a tal problemática.

Se analizan y exploran acciones tomadas, también se toman en cuenta proyectos realizados en otras cuencas con características similares. Al identificar que las actividades y experiencias exitosas de otros lugares de la República con afectaciones parecidas a las presentadas por Tecocomulco fueron de provecho, se toma la determinación de identificar las fortalezas con que contaban y hacer todo lo necesario para su implementación y aplicación para atender la problemática existente en la cuenca de Tecocomulco.

Para la atención a la problemática de erosión, se toma en cuenta que la restauración de zonas afectadas por esta causa, se realiza a través de dos tipos de prácticas: las preventivas y correctivas. Como su nombre lo indican las primeras tratan de prevenir la erosión que puede ocurrir por diversos factores como son la lluvia, el viento y la tala de árboles por mencionar algunos. Las medidas correctivas se enfocan en la manera de reestructurar y corregir las zonas afectadas por la erosión.

En cuanto a la solución de problemas por las actividades turísticas, la propuesta de solución se basa en la aplicación de dos proyectos productivos que buscan ampliar las actividades realizadas por los pobladores. La primer alternativa descrita se basa en la engorda de carpa mediante estanques rústicos, los cuales pueden ser construidos por los mismos habitantes que integran las comunidades, tratando que esta infraestructura resulte de interés y al alcance de todos.

La segunda alternativa se basa en la engorda de rana toro mediante un invernadero, en el cual se instalarán estanques. Los cuidados que se requieren para llevar a cabo las actividades de manejo de la especie a producir, correrá por cuenta de aquellos que integren el equipo de trabajo.

En el aspecto para atender los problemas de contaminación por aguas residuales, se propone la elaboración de un humedal artificial como primer propuesta. Para este tema se considera un servicio máximo de 1, 200 personas que generarán 180,000 litros de agua residual al día. Se determina la realización de un humedal de flujo sub-superficial; tomando en consideración las ventajas y desventajas que este sistema aporta, determinando que este sistema otorga mejores beneficios para la laguna y su cuenca.

Otra de las propuestas para atender este tipo de contaminación es la implementación de baños ecológicos, en aquellas zonas donde resulta difícil la introducción de drenaje público, por las condiciones geográficas y geológicas de la zona.

Se contó con la ayuda de dependencias gubernamentales especializadas en el ámbito referente al cuidado del medio ambiente como son: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), para recopilar la documentación necesaria en el desarrollo del proyecto de investigación.

La ayuda de los pobladores de la cuenca también fue una valiosa aportación para enriquecer este documento, toda vez que ellos son quienes conocen de manera real las condiciones con que cuenta su territorio, la problemática que les aqueja y por ello buscan la manera de solucionarlos; en ocasiones requieren de la ayuda de personas que cuenten con conocimientos especializados, necesarios para la aplicación de nuevas tecnologías que busquen revertir las afectaciones existentes en la cuenca.

Las propuestas de la presente monografía, fueron dadas a conocer a los pobladores de la laguna y sus alrededores; estas propuestas han sido aceptadas con gran interés y entusiasmo, por lo cual en un futuro se pretende implementar y desarrollar los proyectos que se encaminan a solucionar la problemática de esta zona.

Capítulo Uno

Antecedentes básicos de la cuenca de la laguna de Tecocomulco, Hidalgo

1.1 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es: la unidad morfológica superficial definida por la existencia de la parte divisoria de las aguas en un territorio dado. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas", que es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes, pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja.

Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios y una cuenca hidrológica es una unidad morfológica integral, al incluir el concepto de cuenca hidrográfica y abarcar en su contenido la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

(http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=category&id=46&Itemid=75) extraído en Octubre de 2008.

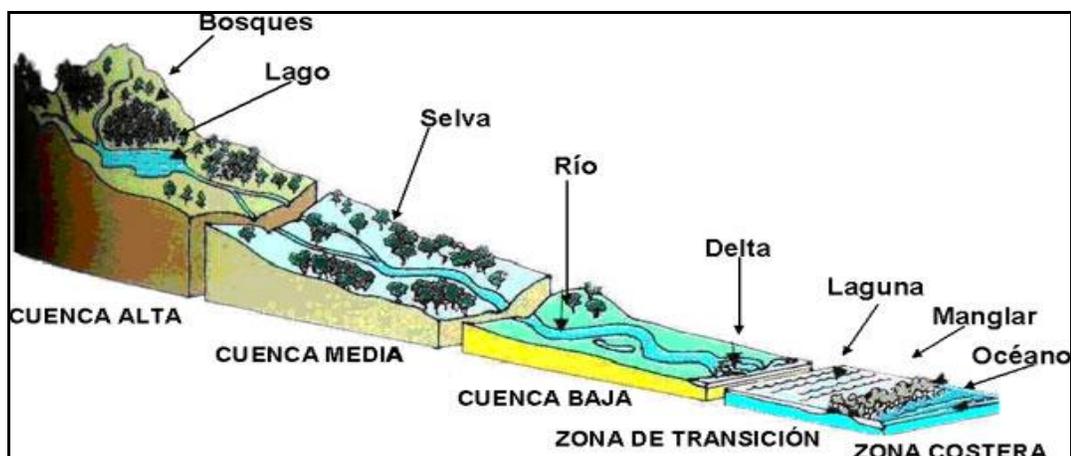


Fig. 1. 1 Partes en que se divide una cuenca. Fuente. www.agua.org.mx

1.2 Funciones de la cuenca

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema. Dentro de la cuenca, se tienen los factores hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen:

1.2.1 Función hidrológica

- 1.- La captación de agua de las diferentes formas de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos arroyos y acuíferos.
- 2.- El almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- 3.- La descarga del agua como escurrimiento.

1.2.2 Función ecológica

- 1.- Fuente de captura y almacenamiento de carbono.
- 2.- Regula la recarga hídrica.
- 3.- Conserva la biodiversidad.
- 4.- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos.
- 5.- Provee de hábitat para la flora y fauna que existe en el ecosistema.

1.2.3 Función socioeconómica

- 1.- Fuente de recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- 2.- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

1.3 Tipos de cuencas

Debido a la procedencia de los escurrimientos, las cuencas se clasifican en:

- **Cuencas hidrográficas.** Es el área drenada de una corriente o sistema de drenaje, donde los escurrimientos descargan hacia una sola salida superficial y que alimentan los acuíferos. Está definida por una frontera topográfica. Véase fig. 1.2.
- **Cuenca hidrológica.** Es el área de drenaje subterráneo que define la zona de influencia de los acuíferos y que no necesariamente coincide con las fronteras topográficas.

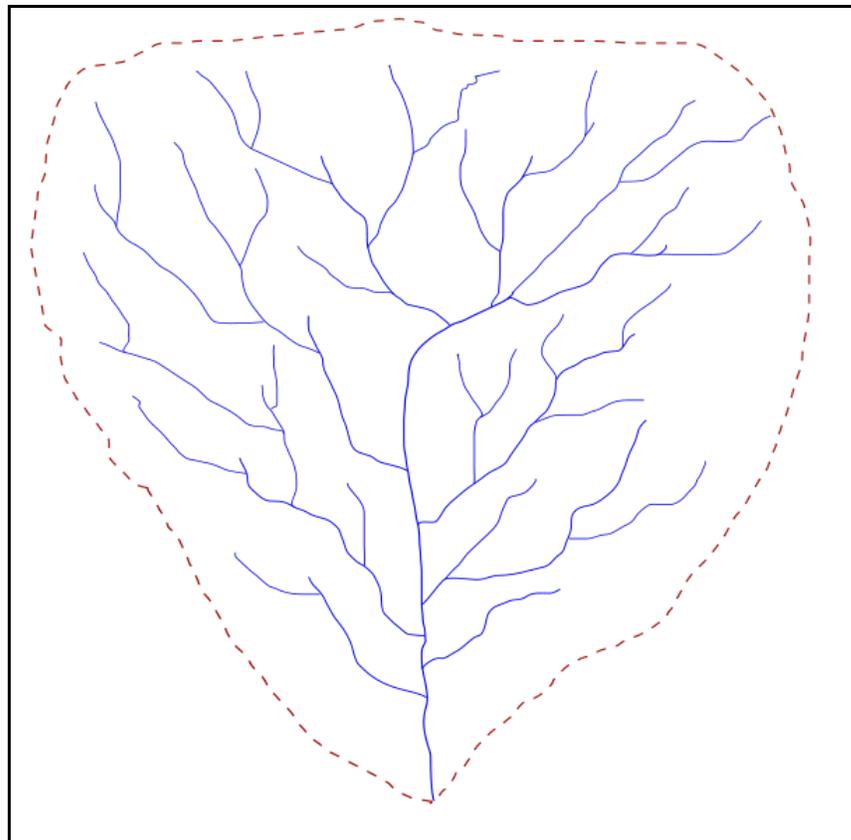


Fig. 1. 2 Flujoograma de una cuenca a través de las escorrentías. Fuente. www.agua.org.mx

Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en trabajos de rehabilitación de Microcuencas en Jiutepec, Morelos en el año de 1997 indica que por el destino de los escurrimientos las cuencas se clasifican en:

Cuenca arréicas o cerradas: no vierten sus aguas a los embalses internos ni al mar, los escurrimientos se pierden en los cauces por evaporación o infiltración sin convertirse en corrientes subterráneas. Véase Fig. 1.3.



Fig. 1. 3 Cuenca arréica o cerrada. Fuente. www.agua.org.mx

Cuenca criptorréica: los escurrimientos se infiltran y corren como ríos subterráneos, careciendo de una red fluvial permanente y organizada. Fig. 1.4.

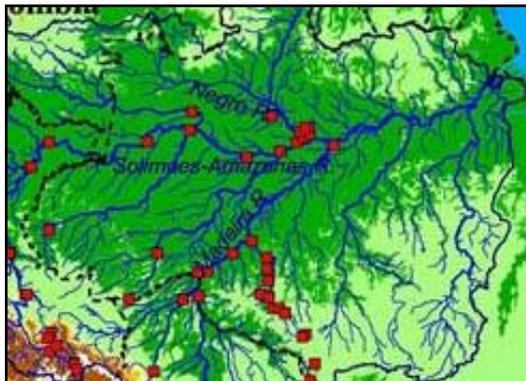


Fig. 1. 4 Cuenca criptorréica. Fuente. www.agua.org.mx

Cuenca endorréica o lacustre: el área de captación de la cuenca forma un sistema de corrientes que desemboca en un embalse o lago interior sin llegar al mar. Véase fig. 1.5.



Fig. 1. 5 Cuenca endorréica o lacustre. Fuente. www.agua.org.mx

Cuenca exorréica o abierta: el sistema de drenaje llega al mar por vía superficial o subterránea como se observa en la fig. 1.6.



Fig. 1. 6 Cuenca exorréica o abierta. Fuente. www.agua.org.mx

De acuerdo con su tamaño, las cuencas se clasifican en:

| Región hidrológica: | Miles de km² |
|----------------------------|--------------------------------|
| a) Cuencas | Mayores a 50,000 ha. |
| b) Subcuencas | Hasta 50,000 ha. |
| c) Subcuenca específica | 10,000 hasta 50,000 ha. |
| d) Microcuenca | 10 hasta 10,000 ha. |
| e) Unidad de escurrimiento | Unas cuantas has. |

Para una mejor comprensión de los tamaños de las cuencas vea fig. 1.7.

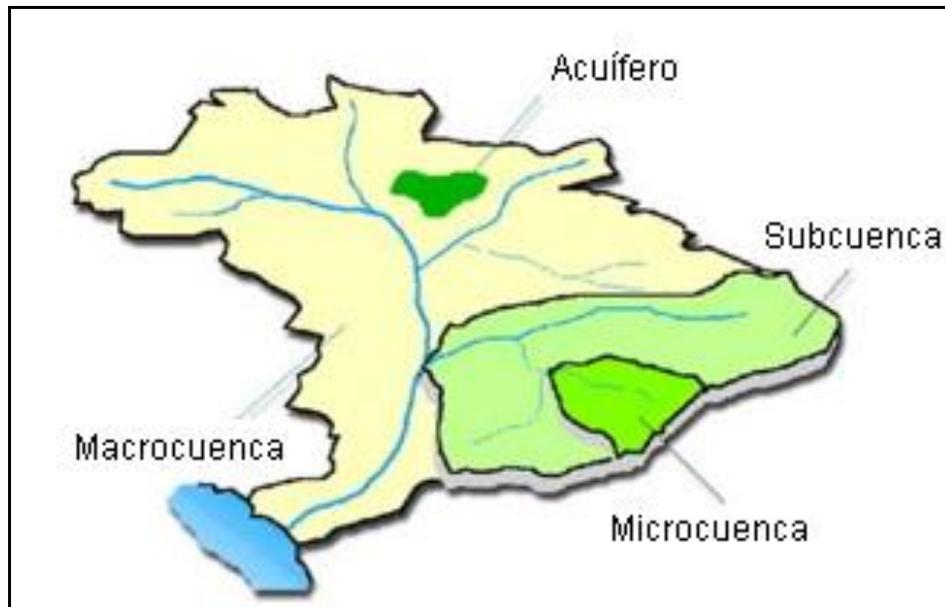


Fig. 1. 7 Clasificación de una cuenca de acuerdo a su tamaño. Fuente. www.agua.org.mx

1.4 Tipos de corrientes

Según Linsley (1977), “las corrientes están relacionadas con las características físicas y climáticas de la cuenca y se clasifican de acuerdo con la permanencia del escurrimiento” esta clasificación se define en:

- Perennes.- aquellas que conducen agua todo el tiempo, excepto durante las sequías extremas.
- Intermitentes.- llevan agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvias.
- Efímeras.- sólo conducen agua durante las lluvias o inmediatamente después.

1.5 Características morfológicas de la cuenca

La cuenca hidrográfica, funciona como un gran colector que recibe las precipitaciones, se infiltra y el resto escurre. El volumen escurrido de una cuenca depende entre otros del clima, topografía del terreno, suelo y vegetación, que influyen en el comportamiento de los fenómenos hidrológicos. Las características de las cuencas expresadas en valores o índices influyen en la forma del hidrógrama mostrado en la figura 1.2.

La influencia de determinados índices, que caracterizan a la cuenca en la respuesta hidrológica, es el punto de partida del análisis de la misma. Entre los parámetros se encuentran el área de la cuenca, su forma, pendiente y elevación media, las características de la red de drenaje y del cauce principal. La relación entre las características físicas de la cuenca que son prácticamente estáticas y la respuesta hidrológica es muy compleja (Mariano, 2006. p. 23).

1.6 Descripción de las clases de suelo

Con el fin de entender las características de las diferentes clases de suelo por su capacidad de uso, a continuación se hace una breve descripción de las mismas.

Clase I

Los suelos de esta clase son terrenos que presentan muy poca o ninguna limitación para su uso y además cuando existen son fáciles de corregir. Se pueden desarrollar una amplia gama de cultivos, pastos, bosque o vida silvestre.

Clase II

Son terrenos que no presentan limitaciones acentuadas para el desarrollo de los cultivos. Pueden usarse para cultivos, pastos, bosque o vida silvestre.

Clase III

Los suelos de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de los cultivos. Estos terrenos requieren de prácticas especiales de conservación para algunos o todos los cultivos agrícolas.

Clase IV

Los terrenos de esta clase tienen limitaciones muy severas para el desarrollo de los cultivos agrícolas. Estos terrenos pueden usarse para un grupo reducido de cultivos, particularmente pastos, bosque o vida silvestre; son necesarias prácticas de conservación.

Clase V

Terrenos con problemas de erosión presentan limitaciones que no es posible superar en forma práctica ni económica, por lo que es preferible dedicarse a pastizales, árboles o vida silvestre.

Clase VI

Los suelos de esta clase presentan severas limitaciones que los hacen impropios, para los cultivos, por lo que su uso se restringe a pastizales, bosque o vida silvestre.

Clase VII

Son suelos que presentan limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos, por lo que su uso queda restringido para pastos con limitaciones, árboles o vida silvestre.

Clase VIII

Suelos con limitaciones excesivas para su uso en cultivos comerciales, desarrollo de pastizales o bien explotaciones forestales.

Las clases I, II y III incluyen todas las tierras que son adecuadas para el cultivo regular y la clase IV, las tierras que se pueden cultivar sin riesgos, sólo de vez en cuando, es decir de modo limitado. Las clases V, VI y VII, comprenden las tierras que no son adecuadas para cultivarlas, pero que son apropiadas para agostadero y bosque. La clase VIII comprende las tierras que no son adecuadas para cultivos, agostadero ni bosques.

Subclase II ET₁

Estos terrenos se localizan en áreas agrícolas de la zona de estudio. Se caracterizan por presentar una pendiente suave de 2 a 3%, son suelos moderadamente profundos mayores de 1.2 m., están expuestos a una erosión leve no muy acentuada por efecto del agua o del viento con pérdida de 0 a 25% del horizonte A. Son suelos con texturas de medias a finas, se observa agrietamiento lo que indica que existe arcilla; por la permeabilidad lenta ocurren inundaciones ocasionales. El desarrollo de los cultivos será limitado por la deficiencia de agua cuando exista poca precipitación.

Subclase III ET₂S₁

Los terrenos de ésta subclase se localizan en áreas agrícolas ubicadas en lomeríos suaves. Se caracterizan por presentar una pendiente ondulada (3-6%), erosión moderada en forma laminar con pérdidas del 25 al 75% del horizonte A, existen canalillos en formación, la profundidad de estos suelos es regular. La precipitación es muy irregular y errática por lo que existe deficiencia de agua.

Subclase IV I

Los terrenos de ésta subclase se ubican en las inmediaciones de la laguna de Tecocomulco; son suelos arcillosos, profundos, sufren inundaciones que afectan severamente los cultivos.

Subclase IV ET₂S₁

Estos terrenos presentan pendientes que varían de 6 a 10%, son suelos que no retienen humedad por presentarse en lomeríos, donde aflora el tepetate y en algunos lugares la roca, presentan un drenaje superficial rápido, la profundidad efectiva del suelo es muy limitada de 20 a 30 cm., existe una erosión laminar fuerte con pérdidas de 75 al 100% del horizonte A.

Subclase V T₂

Las tierras de esta subclase están ocupadas por masas de árboles, no son aptas para los cultivos agrícolas, debido a que se registran pendientes que varían del 25 al 50%; son suelos forestales moderadamente profundos y ricos en materia orgánica.

Subclase VII ET₂S_{1,3}

Los terrenos de esta subclase se localizan en las laderas circundantes en la cuenca de Tecocomulco. Son terrenos con erosión muy severa, con pérdidas hasta del 100% del horizonte A. Además existe la formación de cárcavas profundas, las variaciones de la pendiente en estos lugares varía del 40 al 100%. La profundidad efectiva del suelo es de 0 a 10 cm.; existen lugares con pedregosidad superficial que llega a cubrir hasta el 70% del terreno.

1.7 Caracterización de la cuenca Tecocomulco

Para tener un mejor panorama de lo que es la cuenca de Tecocomulco, se identifican a continuación las características más importantes.

1.7.1 Localización, extensión y colindancias

La cuenca tributaria de la laguna de Tecocomulco, se encuentra en la parte Sureste del Estado de Hidalgo y comprende una superficie de 540 km² (54,000 has.). Forma parte de la región serrana que atraviesa el territorio hidalguense

por el Centro con dirección Sur-Este-Noreste, la altura máxima sobre el nivel del mar es de 3,150 metros y la mínima de 2,514 metros sobre el nivel de mar.

Se encuentra ubicada entre los paralelos geográficos 19°42'24" y 19°58'43" de latitud Norte y entre los meridianos 98°11'24" y 98°29'27" de longitud Oeste. Comprende porciones territoriales de los municipios de Apan, Almoloya, Cuautepec, Singuilucan y Tepeapulco, del estado de Hidalgo, una pequeña superficie del municipio de Chignahuapan, Puebla y una pequeñísima superficie del municipio de Tlaxco, Tlaxcala. Dentro del sistema hidrológico Nacional, la cuenca tributaria de la laguna de Tecocomulco forma parte de la llamada cuenca intermedia 26DU laguna Tochac y laguna Tecocomulco. Aporta sus escurrimientos a la cuenca 26D Río Moctezuma, considerado este último como el principal tributario de la zona "Alto Panuco", que forma parte de la Región Hidrológica 26 Río Pánuco. El espejo de la laguna abarca una superficie de 1,700 hectáreas y un volumen de agua de 74.46 Mm³, sin embargo el 70 % de la superficie de la laguna se encuentra infestada por tule. Vea fig. 1.8 y 1.9.

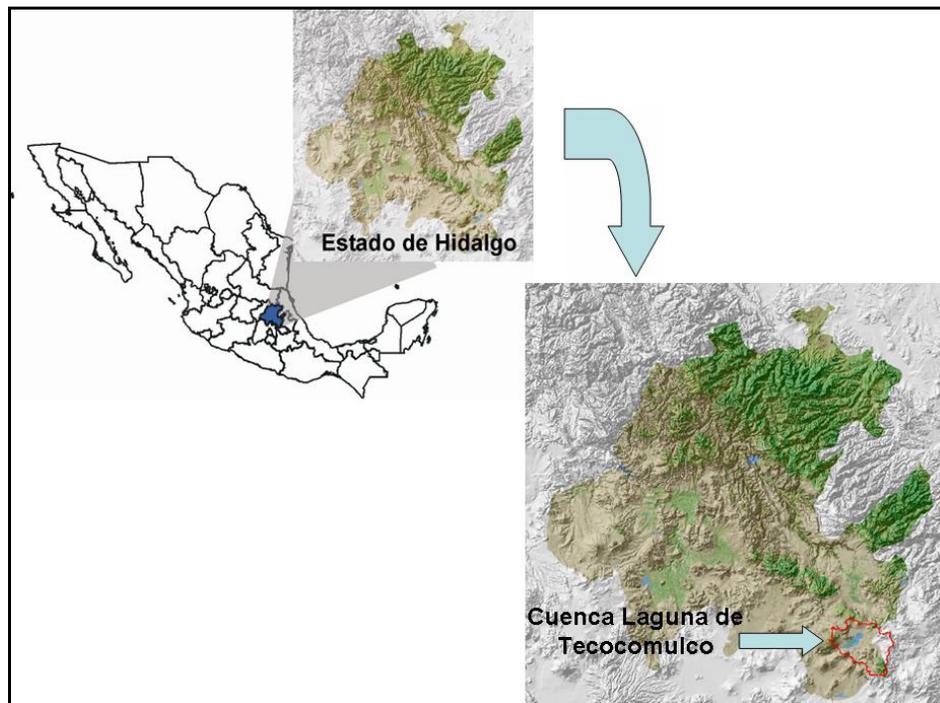


Fig. 1. 8 Localización de la cuenca de la laguna de Tecocomulco, Hgo.
Fuente. CONAGUA 2005



Fig. 1. 10 Drenaje de la laguna de Tecocomulco. Fuente. CONAGUA 2005

La cuenca hidrográfica queda comprendida en 2 regiones económicas, la de Tulancingo y Pachuca; los municipios de Singuilucan y Cuautepec pertenecen a la región II de Tulancingo y los municipios de Tepeapulco, Apan y Almoloya a la región I de Pachuca.

Los Distritos de Desarrollo Rural de influencia en la cuenca hidrográfica de Tecocomulco son: el 064 de Pachuca (municipios de Tepeapulco, Apan, Almoloya); el 065 de Tulancingo (municipios de Cuautepec y Singuilucan) y el de Zacatlán, Puebla.

1.8 Relieve y geología

El parteaguas de la cuenca es de pendiente accidentada. Destacan los cerros de Agua Azul, la Paila, la Minilla y Cerro Viejo de Tultengo. La parte central es de topografía ligeramente ondulada y plana.

El material geológico comprendido en el área de estudio, está constituido principalmente por material de aluvión y suelos residuales en la parte más plana

y cercana a la laguna. En las partes más altas se encuentra material geológico, constituido principalmente por rocas ígneas y un mínimo de rocas sedimentarias, en el primer caso se tiene basalto, andesita, toba, riolita y brecha volcánica; en el segundo caso, se encuentra únicamente arenisca conglomerada. También es común encontrar algunos afloramientos de obsidiana.

1.9 Uso de suelo, vegetación y clases de suelo por subcuencas

Para su estudio la cuenca hidrográfica de Tecocomulco se ha dividido en subcuencas, cuya ubicación y algunas características generales se describen a continuación.

1.9.1 Subcuenca Santa Ana Chichicautla

Está comprendida entre las coordenadas geográficas 19° 52' 53" y 19° 58' 19" de latitud Norte y entre los 98° 21' 38" y 98° 25' 30" de longitud Oeste; colinda al Norte con Tulancingo, al Sur con la laguna de Tecocomulco, al Este con Tecocomulco de Juárez, al Oeste con la subcuenca Corralillos. El uso de suelo y vegetación de la subcuenca en la parte baja es básicamente para la agricultura de temporal con cultivos anuales y perennes. Los principales son: cebada y maíz.

En las partes más altas se encuentra la masa arbórea, que forma un bosque mezclado y heterogéneo de bosque de pino-encino, bosque de oyamel, bosque de pino en combinación de cultivos anuales, además de escasas áreas de pastizales inducidos.

En cuanto a la capacidad de uso de los suelos, la clase II ocupa mayor superficie en la subcuenca. Esta área se localiza principalmente en la zona agrícola de Palo Hueco y Plutarco Elías Calles (Las Galeras).

La clase III se ubica en la localidad de Las Águilas, la clase V ocupa la superficie de los volcanes Coatzetzengo y el Seco; el cerro Agua Azul está dentro de la clase VII. El área de la clase IV se localiza circundante a la Laguna.

1.9.2 Subcuenca Corralillos

Se ubica entre los paralelos 19° 50' 53" y 19° 56' 04" de latitud Norte y los meridianos 98° 25' 20" y los 98° 29' 22" de longitud Oeste. Limita al Norte con Tulancingo, al Sur con la laguna Tecocomulco y la subcuenca Cuatlaco, al Este con las subcuencas San Miguel de Allende y Santa Ana Chichicuatla y al Oeste con Singuilucan.

Las características de la vegetación son asociaciones de agricultura de temporal con bosque de pino, táscate, encino, matorral y pastizales. Los bosques son masas mezcladas e irregulares. Este tipo de vegetación se localiza en las zonas accidentadas y más altas de la subcuenca; hacia el valle el uso del suelo es para cultivos de temporal tanto anuales como perennes.

En cuanto a la capacidad de uso de los suelos, en su área predomina la clase V, los cuales son aptos para el bosque, las localidades que tienen mayor superficie dentro de esta clase son: Francisco I. Madero, Las Canoas y la parte alta al Norte de La Ocho.

La clase II, son tierras aptas para el cultivo, la mayor superficie de esta clase se encuentra en las partes planas correspondientes a la localidad de Francisco I. Madero.

La clase III se localiza principalmente al este de Corralillos, así como al Oeste del mismo poblado se ubica la clase VII y la clase IV con problemas de inundación se encuentra en los lugares cercanos a la laguna.

1.9.3 Subcuenca San Miguel Allende

Es la subcuenca de menor superficie y queda comprendida entre los paralelos 19°52'12" y 19°53'35" de latitud Norte y 98°25'30" de longitud Oeste. Sus colindancias al Norte, Este y Oeste son las subcuencas de Santa Ana Chichicautla y Corralillos y al Sur la laguna de Tecocomulco.

El uso del suelo y el tipo de vegetación es de táscate-encino-pino y matorral inerme, además de cultivos de temporal. En sus suelos predomina la clase VII, los que se ubican en la parte alta y al sur del poblado de San Miguel Allende. La clase IV se encuentra en los límites con Corralillos.

1.9.4 Subcuenca Cuatlaco

Esta subcuenca es la que cuenta con mayor superficie, está comprendida entre los paralelos 19°42'29" y 19°52'51" de latitud Norte y los meridianos 98°13'36" y 98°29'48" de longitud Oeste. Al Norte limita con la laguna de Tecocomulco y las subcuencas Corralillos y Cocinillas; al Sur con Almoloya; al Este lo limita la subcuenca del Tezoyo y al Oeste Tepeapulco.

El área boscosa comprende una superficie muy pequeña, con manchones dispersos a lo largo de la subcuenca. Las especies vegetales son las mismas que se han venido mencionando. La superficie dedicada a la agricultura es extensa, siendo ésta de temporal con cultivos como la cebada y el trigo.

En sus suelos predomina la clase II en los predios de Rancho Nuevo, El Carmen, San Inés, Santa Cruz y Granja Tultengo. La clase III se ubica principalmente en Guadalupe, Colorado, La Venta, San Fernando y Rancho Nuevo, la clase IV comprende Las Vigas, Mesa El Gallo, El Manguillo, San Antonio y Las Golondrinas.

La subcuenca Cuatlaco es la que abarca mayor superficie de tierras de clase V, que se localizan en los cerros de El Toril, El Cuervo, El Gallo y el cerro Viejo de Tultengo y el área de Jagüey Prieto.

Las tierras de clase VII se localizan en Vista Hermosa, Tultengo y Jagüey Prieto.

1.9.5 Subcuenca El Tepozán

Se encuentra ubicada entre los paralelos 19°49'47" y 19°56'53" de latitud Norte y los meridianos 98°14'17" y 98°22'55" de longitud Oeste. Sus límites son los siguientes: al Norte, el Aserradero; al Sur y Este la subcuenca el Tezoyo y al Oeste la laguna de Tecocomulco.

El uso del suelo es principalmente en actividades agrícolas de temporal y sólo una porción de superficie ubicada en el Noreste de la subcuenca tiene bosque. Las especies existentes son las ya mencionadas para las subcuencas anteriores.

Es la subcuenca que tiene mayor superficie de tierras de clase II, las principales localidades que comprenden esta área son: La Palma, El Encanto, El Coyuco, Tres Cabezas, Tecocomulco de Juárez, Las Ánimas, La Cañada, San Isidro y La Reforma.

La clase III comprende las localidades de: Lomas de Ojuila, Los Magueyes, El Portezuelo, San Antonio, San Juan Tecocomulco, Las Ánimas y Coatzetzengo.

En esta subcuenca existe una superficie considerable, susceptible a las inundaciones de 737 has., que corresponden a Tecocomulco de Juárez y La Palma. La clase V se ubica principalmente en el volcán Coatzetzengo, cerro La

Minilla, y al este La Cañada, Tres Cabezas y cerro Buenavista. La clase VII se ubica principalmente en los cerros cercanos a Tres Cabezas.

1.9.6 Subcuenca Cocinillas

La subcuenca queda comprendida entre los paralelos 19°48'48" y 19°51'51" de latitud Norte y los meridianos 98°18'39" y 98°22'43" de longitud Oeste. Limita al Norte con la subcuenca Tepozán y la laguna de Tecocomulco; al Sur con la subcuenca Cuatlaco; al Este con la subcuenca el Tezoyo; y por el Oeste con la subcuenca de Cuatlaco y la laguna de Tecocomulco.

El uso del suelo es para agricultura de temporal con los cultivos de la región. La vegetación predominante está conformada por bosque de táscate, táscate-encino y chaparral.

Las tierras de la clase II se encuentran en las localidades de Cocinillas y Mazatepec, la clase III domina en las inmediaciones de El Tigre, la clase IV en Las Conchas, la clase V en los cerros de Taxcalague y El Conejo, y la clase VII predomina en Cocinillas y El Balconcillo.

1.9.7 Subcuenca Tezoyo

La subcuenca queda comprendida entre los paralelos 19° 45' 27" y 19° 53' 51" de latitud Norte y los meridianos 98° 12' 09" y 98° 19' 12" de longitud Oeste. Sus límites hacia el lado Norte son Chignahuapan, Puebla y la subcuenca de Cuatlaco; por el Este limita con Chignahuapan, Puebla; y al Oeste con la subcuenca de Cocinillas.

El uso del suelo básicamente es de cultivos de temporal como la cebada, el trigo, avena y poca superficie dedicada al maíz. Hacia el Este de la subcuenca, la vegetación dominante son bosques de pino, táscate y táscate-encino.

Entre las localidades que tienen tierras de clase II se encuentran El Paredón, El Paraíso, Las Maravillas, Coliuca, El Tepozán y San Claudio, los poblados que cuentan con superficie de tierras clase III son: San Claudio, Los Reyes, El Tezoyo, El Lindero y El Refugio. La clase IV predomina al Norte de El Paredón y El Tepozán, la clase V se extiende en una franja de la parte alta de la cuenca abarcando superficie de El Paredón, San Claudio, Los Reyes y El Tepozán.

La clase VII se ubica en los poblados de Coliuca, El Ojito, Tetechales y cerro el Coyote.

1.10 Clima

De acuerdo a la información de las siguientes estaciones dentro de la cuenca y su área de influencia: El Tezoyo, El Paredón, El Aserradero, San Lorenzo Sayula, Singuilucan, San Jerónimo y San Rafael, el tipo de clima que predomina en la cuenca Tecocomulco es subhúmedo, semifrío; seco de febrero a mayo y con una marcada precipitación de julio a septiembre, con un promedio de 680 mm. anuales. En general todas las estaciones registran una baja concentración de calor en el verano y una pequeña deficiencia de agua.

La categoría de humedad en la cuenca varía de ligero húmedo en la mayor parte de la cuenca a semiseco en una pequeña área al Noroeste de la cuenca, específicamente por las estaciones de El Paredón y San Lorenzo Sayula, en esta zona disminuye la precipitación y la temperatura media mensual aumenta.

Las características de régimen de humedad, categoría y temperatura son homogéneas en toda la cuenca.

Existen demasías de agua en toda la zona en los meses de Julio a Septiembre, con la excepción de la estación “El Paredón”, donde esta demasía es poco notoria; una humedad almacenada desde Mayo a Diciembre, con

aprovechamiento de Octubre a Febrero y una marcada deficiencia de agua de Febrero a Mayo.

1.11 Precipitación

El periodo lluvioso de la cuenca se concentra de Mayo a Septiembre, agrupando un 75% del total anual precipitado. De Julio a Septiembre se localizan las demasías de agua; de Noviembre a Enero se determina un aprovechamiento de humedad y de Febrero a Abril se presenta una sequía o deficiencia de agua. El mes con mayor precipitación registrado es Agosto y con menor precipitación en Diciembre.

El régimen de lluvias es considerado de verano, antecedido de un período de transición en el mes de Mayo con lluvias irregulares y dispersas; hay un corto período de secas en el mes de Agosto, conocido como canícula.

Por el valor de la precipitación en las estaciones dentro de la cuenca se observa un valor mayor en la estación de San Rafael; en las estaciones El Tezoyo, San Jerónimo y El Paredón, su valor es muy similar al de precipitación media.

De los últimos 28 años de precipitaciones registradas dentro de la cuenca, se observa que el valor más bajo es de 438.42 mm. en 1982 y el valor más alto de 837.55 mm. en 1976.

En cuanto a la precipitación en forma de granizo, sólo hay registros en la estación San Jerónimo. La mayor incidencia de granizadas es en verano, en los meses de Julio y Agosto principalmente. En el área de estudio no se reportaron daños por granizo y las demás estaciones no cuentan con datos.

La siguiente figura muestra gráficamente el comportamiento de la precipitación media mensual, con datos de la estación San Jerónimo.

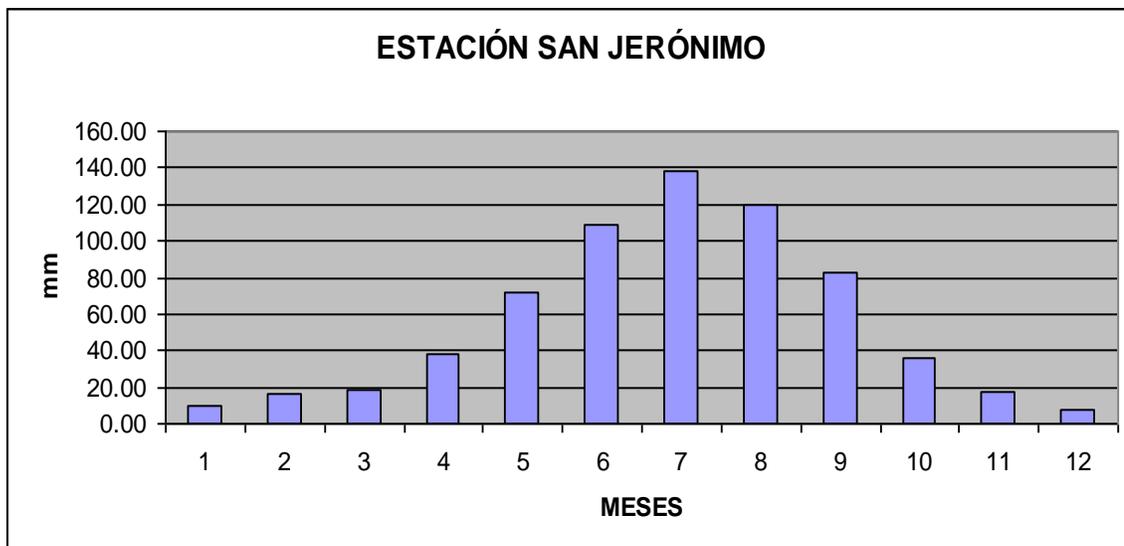


Fig. 1. 11 Comportamiento de la precipitación media mensual en la cuenca Tecocomulco. Fuente. CONAGUA 2005

1.12 Temperatura

En la cuenca la temperatura presenta una oscilación térmica de isotermal a poca, con presencia de canícula en el área de San Lorenzo Sayula, El Paredón y San Jerónimo. La temperatura media anual en la zona varía de 10.8 °C a 14.5 °C, la temperatura media mínima anual es de 7.80 °C a 11.6 °C en el mes de Enero, la temperatura media máxima anual es de 13.7 °C a 17.2 °C en Mayo; las temperaturas mínimas se presentan de Diciembre a Febrero, centralizándose en Febrero valores mínimos registrados de -8 °C a -15 °C. De las temperaturas máximas se presentan valores máximos registrados de 30 °C a 33 °C en los meses de Abril a Mayo.

Las heladas de acuerdo a los datos de las estaciones: San Jerónimo, San Rafael, San Lorenzo Sayula, El Paredón y El Tezoyo, se aprecian todo el año. En la región de la estación San Jerónimo se observa un promedio de 140 heladas al año y en la influencia de la estación San Lorenzo Sayula 33 heladas al año. En invierno, la frecuencia de heladas es alta, aproximadamente en el 80% de esta estación se presenta heladas, es decir, de los 120 días del invierno en 90 días hay heladas, en todos los años observados. Sólo en la influencia de

la estación San Lorenzo Sayula la frecuencia es menor o igual al 50% en todos los años observados. En la estación San Jerónimo, en verano se presentan de 1 a 6 heladas por año. También se observan heladas tardías y tempranas que se presentan en la época de actividad productiva. Las tardías causan daños sobre la germinación, emergencia, floración, foliación y fructificación de las plantas anuales. Las heladas tempranas interrumpen abruptamente el proceso de maduración de frutos y la formación de yemas. Este fenómeno provoca que solo se realice un ciclo de cultivo al año, pues su frecuencia es muy alta.

En la figura 1.12, se muestra el comportamiento de la temperatura media mensual en grados Celsius de acuerdo a los registros de la estación San Jerónimo; así como la tabla de registro de los datos de temperatura y precipitación mensual como se presenta en el cuadro 1.1. (Comisión Nacional del Agua, 2002. p. 67).

| MESES | TEMPERATURA °C | PRECIPITACIÓN mm |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Enero | 9.00 | 9.90 |
| Febrero | 9.90 | 16.10 |
| Marzo | 12.60 | 18.40 |
| Abril | 14.40 | 38.30 |
| Mayo | 15.20 | 72.30 |
| Junio | 14.80 | 108.40 |
| Julio | 13.80 | 138.60 |
| Agosto | 13.70 | 119.20 |
| Septiembre | 13.60 | 82.90 |
| Octubre | 12.50 | 36.10 |
| Noviembre | 10.50 | 16.90 |
| Diciembre | 9.60 | 7.70 |
| Promedio/suma | 12.47 | 664.8 |

Cuadro 1. 1 Temperatura y precipitación media anual de la cuenca Tecocomulco.
Fuente. CONAGUA 2002

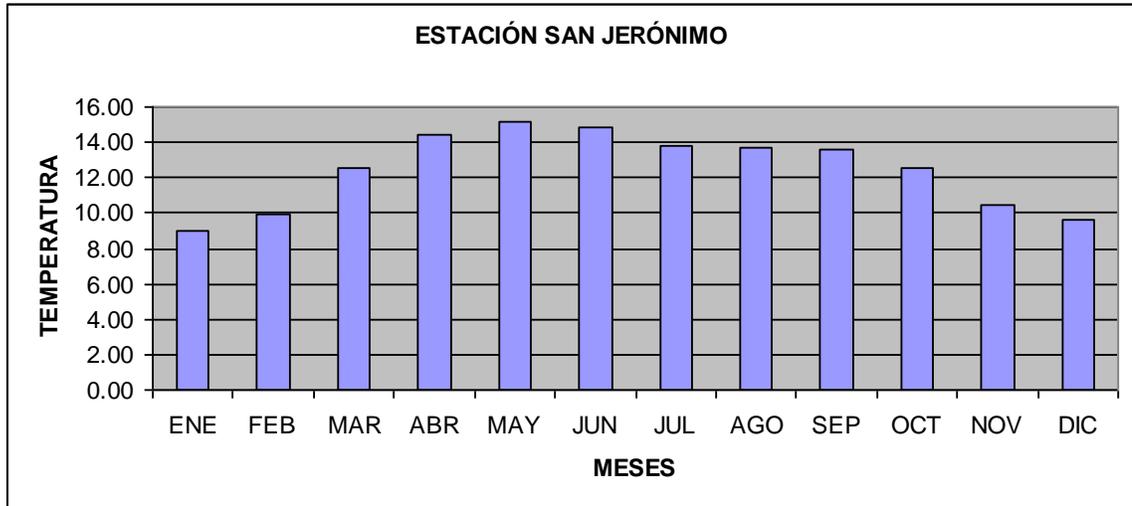


Fig. 1. 12 Comportamiento de la temperatura media mensual en la cuenca Tecocomulco.
Fuente. CONAGUA 2002

1.13 Importancia de la Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco

El 14 de julio de 2005, se instala la Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco (CCLT), como un órgano auxiliar del Consejo de Cuenca del Valle de México y el 15 de octubre del 2006, se constituye legalmente en una Asociación Civil.

La Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, tiene como objetivo, promover entre la población la prevención y control de la contaminación del agua, del aire y del suelo, la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico e hidrológico de manera ordenada. A través de la gestión integral de los recursos hídricos, mediante la coordinación y concertación de objetivos, metas, políticas, programas, proyectos y acciones específicas en su ámbito territorial. De conformidad con las normas y principios de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, de las Reglas de Operación y Funcionamiento de los Consejos de Cuenca, de los Estatutos que rigen su actuación como Asociación Civil y conforme a los objetivos generales del

Consejo de Cuenca del Valle de México, para revertir la grave problemática de deterioro en la cuenca.

La estructura organizativa de la Comisión está representada por:

- a) Un Presidente, un Secretario General y un Tesorero; electos por los integrantes de la CCLT;
- b) Un Secretario Técnico, cargo que recae en el Director Local de la CONAGUA en Hidalgo;
- c) Vocales representantes de los sectores productivos, de usuarios de aguas nacionales y de la Sociedad Organizada de la Cuenca y
- d) Vocales gubernamentales; que pueden ser representados por dependencias de los tres niveles de Gobierno, ONG's, instituciones educativas y de investigación, asociaciones y cámaras empresariales.

Todos los cargos propios de la CCLT serán de carácter honorífico, no establecen algún tipo de relación laboral y tendrán una duración de tres años en su encargo.

A partir del 30 de Octubre del 2006, se instala la Gerencia Operativa de la Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco. Resultado del convenio de coordinación celebrado entre la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno del Estado, a través de la Comisión Estatal de Agua y Alcantarillado de Hidalgo. Los objetivos que se buscan con la instalación de esta gerencia es conjuntar y promover acciones y recursos para consolidar la participación de los usuarios en el manejo del agua a nivel de cuenca. Mediante el apoyo de las actividades operativas, estudios, proyectos y acciones de la comisión de cuenca de la laguna de Tecocomulco, sirviendo de apoyo para el cumplimiento de los objetivos de la Comisión.

La Gerencia Operativa está integrada por un Gerente Operativo y por dos técnicos analistas en manejo de cuencas cuyas actividades son:

- Gestionar y dar seguimiento al cumplimiento de los compromisos y acuerdos emitidos por la CCLT.
- Mantener informados por escrito de manera quincenal al Presidente y Secretario Técnico de la CCLT, acerca de los resultados de las acciones y gestiones realizadas para el cumplimiento de los objetivos de la CCLT, ante las instancias correspondientes.
- Desarrollar, proponer y promover el proyecto de programa hídrico de gestión o plan de manejo de la cuenca, que contengan las prioridades de inversión.
- Gestionar anualmente la concurrencia de recursos públicos, privados, de ONG's nacionales e internacionales, que fluyan directamente o a través de los programas, proyectos o acciones institucionales o de otras fuentes para avanzar en el cumplimiento del objeto de la Comisión.
- Diseñar y proponer las acciones de capacitación de los integrantes de la CCLT, así como las relativas a la difusión de sus actividades, promoviendo un mayor involucramiento y participación de la población en general.
- Organizar las sesiones ordinarias o extraordinarias de la CCLT y de sus Órganos Auxiliares.
- Participar en reuniones con los usuarios, dependencias gubernamentales y diversas organizaciones, levantando las minutas correspondientes.

- Realizar y actualizar el censo de usuarios y aprovechamientos, así como los estudios de la disponibilidad del recurso agua en la cuenca.
- Coordinar las estrategias y acciones necesarias para atender la problemática de ciudadanos, organizaciones campesinas y sociales; por la administración y uso de los recursos de la cuenca, a fin de solucionar y prevenir asuntos asociados a conflictos.
- Establecer los mecanismos de coordinación con las dependencias públicas, organizaciones no gubernamentales e iniciativa privada, a fin de canalizar los proyectos para su financiamiento y atención de asuntos de su respectiva competencia.
- Planear, programar y ejecutar las acciones necesarias para lograr una mayor representatividad, a través del fortalecimiento de la estructura, organización, funcionamiento y canales de comunicación entre los integrantes de la CCLT y la población de la cuenca.
- Asesorar técnica y operativamente a los integrantes de la CCLT, así como en los trámites administrativos ante la CONAGUA que deben realizar los usuarios del agua, con relación a su concesión o asignación.
- Integrar y mantener actualizado el sistema de información geográfica de la Cuenca, el Banco de Datos de la misma y el directorio de la CCLT.
- Elaborar proyectos de inversión, investigaciones, manuales y documentos técnicos que contribuyan al conocimiento y desarrollo socioeconómico de la cuenca y su población.
- Realizar acciones de cultura del agua y del medio ambiente, mediante la promoción y realización de campañas, talleres de educación y difusión a

la sociedad; en relación a la importancia del agua y del medio ambiente, para lograr su cuidado así como su preservación.

- Realizar sus actividades bajo la coordinación y supervisión del Comité Directivo de la CCLT.
- Integrar y mantener actualizado el archivo de la CCLT, así como promover y facilitar su consulta por sus miembros.
- Integrar con el apoyo de los representantes del Gobierno Federal, Estatal y Municipales, Órganos Auxiliares, Sector Educativo, Usuarios y la Sociedad Organizada, el inventario de estudios y proyectos específicos realizados o en proceso, a nivel de la Cuenca y Región Hidrológica, y propiciar su divulgación, para su mejor aprovechamiento.

En el año de 2008 ésta gerencia operativa inicia operaciones, siendo el Gerente operativo el Médico Veterinario Zootécnista Jaime Martínez Parra, en el cargo de Técnicos Analistas la Lic. Araceli Pérez Pérez y el P.I.I. Pedro Álvarez Ortiz. La permanencia en esta gerencia por mi parte fue de un año, en el cual se adquirieron los conocimientos necesarios para la elaboración de este trabajo de investigación e incluso algunos de los proyectos que se mencionan fueron realizados mientras trabajaba en la gerencia. Dichos proyectos se implementaron en el año inmediato de mi salida; por ello surge la motivación de difundir los conocimientos adquiridos en este plazo, para que puedan ser utilizados por aquellos interesados en el cuidado del medio ambiente y se continúe mejorando las condiciones de la cuenca.

Capítulo dos

Problemática existente sobre la cuenca de la laguna de Tecocomulco

2.1 Factores que afectan a una cuenca hidrológica

Durante muchos años los problemas de destrucción de recursos naturales renovables en diversas regiones del país, han originado degradación en los distintos ecosistemas que existen en México. Junto a esto se presenta la ampliación del horizonte agrícola, en busca de incrementar el deprimido nivel de ingresos de los habitantes. Así mismo el aumento de población en algunas regiones, origina el problema de afectación del territorio mexicano al buscar satisfacer las necesidades básicas de alimentación y vivienda se recurre a la sobreexplotación de recursos existentes. Como resultado de esto y otras acciones más, tenemos un incremento en la erosión de la tierra; misma que se muestra en sus más variadas facetas, como son: la pérdida de la productividad de los suelos hasta llegar a la sedimentación y contaminación de los vasos de almacenamiento de agua existentes en el territorio nacional.

Obteniendo con la contaminación también cambios climatológicos y fenómenos hidrometeorológicos extremos, tanto de sequía que provocan la disminución del agua disponible para los diversos usos. Así como exceso de agua pluvial en temporada de huracanes; que aunado a la falta de mantenimiento de los canales o drenes de transporte de agua localizados en la cuenca, se tiene por consecuencia inundaciones de parcelas y terrenos agrícolas. Situación que obliga a desarrollar técnicas y establecer procedimientos que eficienten el aprovechamiento y uso de los recursos naturales que se encuentran en el entorno ecológico.

La cuenca de la laguna de Tecocomulco no está exenta de alguna problemática, incluso presenta otras de acuerdo a las características que tiene, al considerar que cada cuenca difiere entre sí de acuerdo a su ubicación geográfica.

La principal problemática que afecta a la cuenca de la laguna de Tecocomulco, de acuerdo con los estudios realizados por la CONAGUA, Delegación Hidalgo desde el 2002, se enumera de la siguiente manera:

1. Erosión
2. Tenencia de la Tierra
3. Actividades Turísticas
4. Contaminación
5. Deforestación

2.2 Erosión

Se puede definir erosión como: el fenómeno donde intervienen los procesos de desprendimiento de las partículas del suelo, transportación por el agente erosivo y concluye con el proceso de sedimentación. De forma gráfica la mecánica de la erosión hídrica se muestra en la figura 2. 1.

La zona que abarca la cuenca de Tecocomulco se caracteriza por desarrollar en toda su superficie una agricultura de temporal en las tierras abiertas al cultivo; con rendimientos determinados por los parámetros climáticos, entre estos el más importante es la cantidad y distribución de la lluvia. A lo anterior se suma el problema de erosión, fenómeno presente en diferentes grados en áreas cultivadas, laderas y bosques, afectando la capacidad de almacenamiento de la laguna y la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Generalmente la capa superficial del suelo es la parte más rica en nutrientes, mismos que necesitan las plantas para completar su desarrollo. Cuando ésta

capa superficial se erosiona por agua o por viento, disminuye considerablemente la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas y forestales.

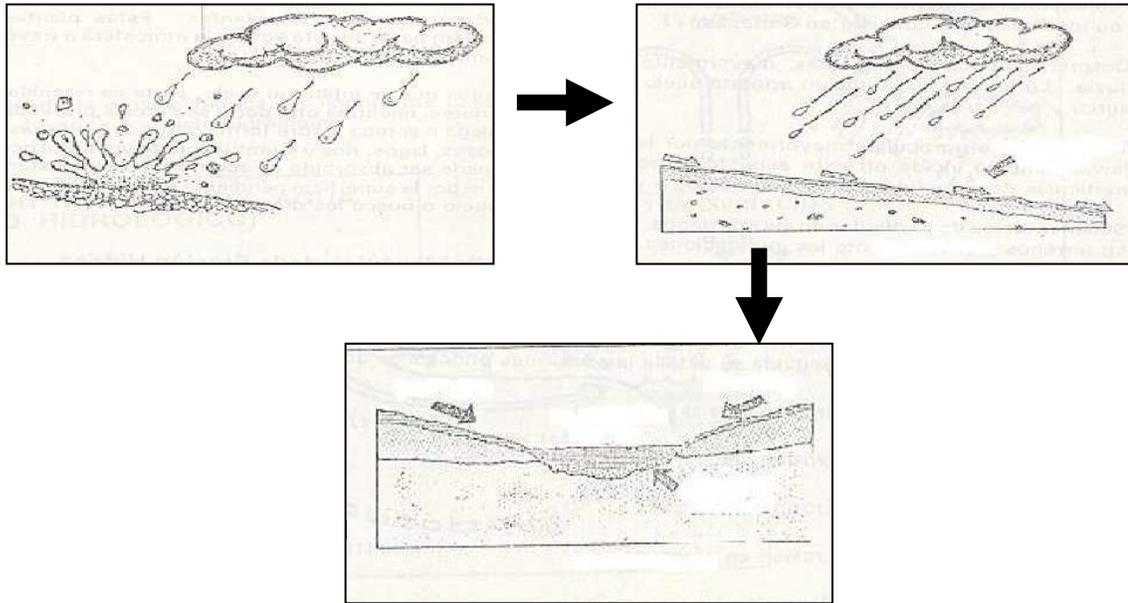


Fig. 2. 1 Mecánica de la erosión hídrica. Fuente. www.agua.org.mx

2.2.1 Tipos de erosión

Erosión Natural: Se puede producir en una forma natural (gradual), donde influye la acción del agua, el viento, los cambios de temperatura y la actividad biológica. Se considera normal, porque existe una capa protectora de suelo, hay un balance natural entre la acción de la formación del suelo y la erosión.

Erosión Acelerada: El equilibrio de la erosión natural puede ser alterado por la acción del hombre, al generar sobre-explotación de la tierra o por catástrofes naturales como puede ser: incendios, inundaciones y deslizamientos. El resultado es llamada erosión acelerada, donde se pierde más suelo del que se puede formar, causando un desbalance en el proceso de formación-erosión (ver fig. 2. 2).



Fig. 2. 2 Muestra de erosión acelerada en la cuenca.

Erosión por salpicado de la lluvia: Se origina debido al golpeteo de las gotas de lluvia en un suelo sin cobertura vegetal, las partículas del suelo son proyectadas al aire por distancias variables. La lluvia compacta la superficie del suelo y baja la tasa de infiltración. El salpicado es importante para la entrega de partículas del suelo al flujo superficial. Véase fig. 2. 3.

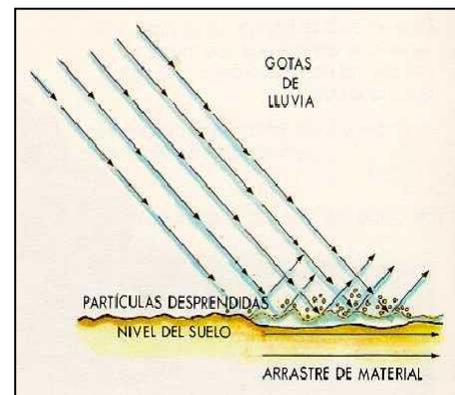
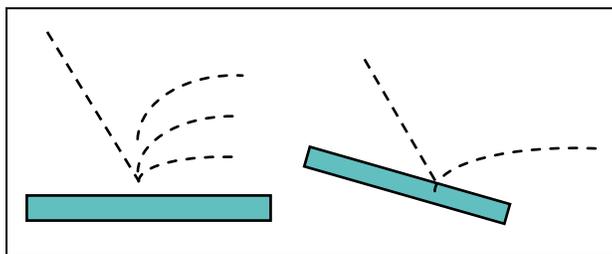


Fig. 2. 3 Erosión por salpicado de la lluvia. Fuente www.agua.org.mx

2.2.2 Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica

De acuerdo con Holy (1990), los mecanismos de la erosión son iniciados y controlados por la acción e interacción de un amplio rango de factores como: climáticos e hidrológicos, morfológicos, geológicos y del suelo, la vegetación, técnicos y socioeconómicos (Comisión Nacional del Agua, 2005. p. 76). Véase fig. 2. 4.

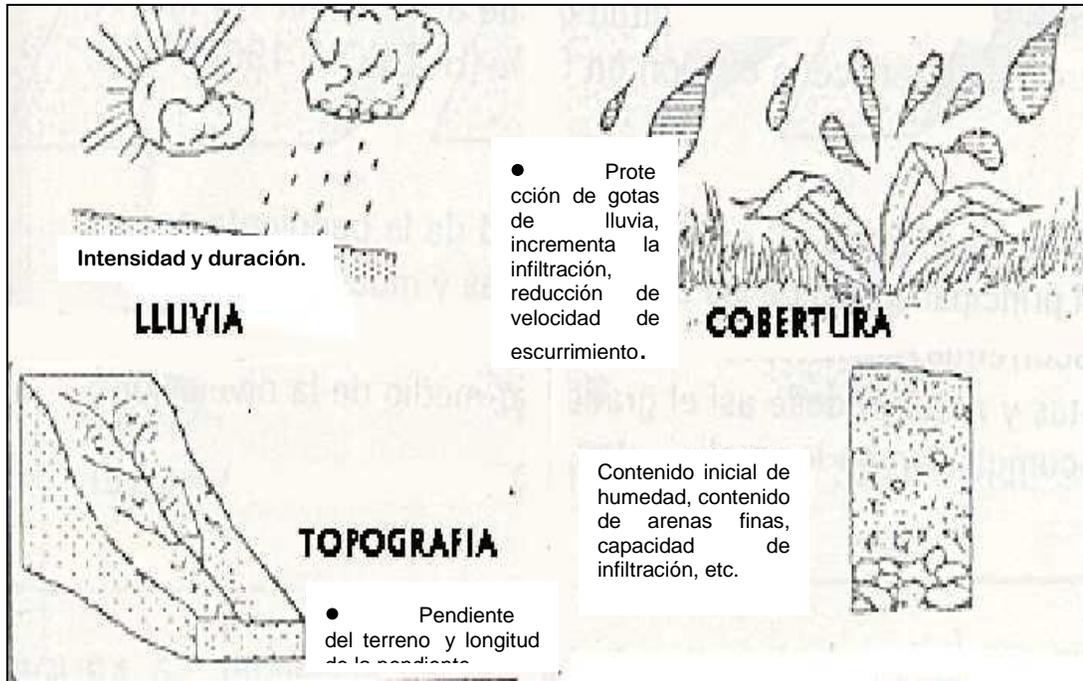


Fig. 2. 4 Procesos que intervienen en la de erosión hídrica. Fuente www.agua.org.mx

2.2.3 Formas de erosión

Erosión eólica: Es causada por el viento a través del movimiento y transporte de partículas de suelo por fuerzas del viento a otro lugar.

Erosión laminar: Se refiere a la remoción de una capa relativamente fina y uniforme de la superficie del suelo, una vez que este se satura con agua. Esto se explica con la fig. 2. 5.



Fig. 2. 5 Erosión Laminar. Fuente. www.agua.org.mx

Erosión en canalillos: Es la remoción del suelo por concentraciones pequeñas de escurrimiento con la formación de canales, por los cuales se transporta y escurre agua. Véase fig. 2. 6.



Fig. 2. 6 Erosión en canalillos.

Erosión en cárcavas: Se origina por la remoción del suelo, mediante la concentración del agua de escurrimiento en un volumen tal que se forman canales de mayores dimensiones, las cuales obtienen el nombre de zanjas y barrancas. Véase fig. 2. 7.



Fig. 2. 7 Erosión en cárcavas. Fuente. www.agua.org.mx

Erosión remontante: Proceso de crecimiento superior y lateral de las cárcavas por falta de obras de control de escurrimientos de agua. Véase fig. 2. 8.



Fig. 2. 8 Erosión remontante.

En la cuenca de la laguna de Tecocomulco las formas de erosión hídrica que mayormente se observan son: laminar, en cárcavas y en menor proporción la remontante.

Para desarrollar un eficiente programa de conservación de suelos, es fundamental contar con un diagnóstico sobre el nivel de afectación por la erosión, que permita ubicar en el espacio los diferentes grados del fenómeno; así como detectar la intensidad donde el proceso de erosión afecta los suelos de la cuenca.

Los problemas de erosión se acentúan en la parte media de la cuenca, en donde existen terrenos deforestados, propensos a ser degradados por los agentes erosivos y provocar problemas de azolves en drenes y canales localizados en partes bajas de la cuenca. Así mismo se tiene un estudio de las superficies con mayor grado de afectación debido a la erosión, en las cuales se deben realizar acciones de manera rápida para poder revertir los daños causados. Esto se especifica en el cuadro 2.1 donde se tiene contemplado que subcuencas tienen una mayor degradación y en que localidades se encuentran.

De acuerdo al estudio “Caracterización, diagnóstico y propuestas para un manejo integral en la cuenca Tecocomulco, Estado de Hidalgo” realizado por la CONAGUA en el 2005, se obtuvo el diagnóstico de la erosión existente en las

diferentes subcuencas de la cuenca de la laguna de Tecocomulco, de ahí se extrajo el cuadro 2.1 donde menciona la erosión existente por subcuencas, así como las localidades más afectadas y las que requieren mayor atención para revertir las condiciones actuales.

| SUBCUENCA | ÁREA | SUBCUENCAS MÁS EROSIONADAS | LOCALIDADES MÁS AFECTADAS |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|---|
| Corralillos | 46.7 km | | Jagüey Prieto y Francisco Sarabia |
| San Miguel Allende | 7.2 km | 59% de erosión severa y muy severa | San Miguel Allende |
| Sta. Ana Chichicuatla | 46.1 km | | Plutarco Elías Calles, Las Galeras y Palo Hueco |
| Tepozán | 108.0 km | | Coatzetzingo, La Cañada, El Coyuco y Tres Cabezas |
| Cocinillas | 24.4 km | | Cocinillas y El Balconcillo |
| Tezoyo | 113.4 km | | El Tepozán y El Tezoyo |
| *Cuatlaco | 136.0 km | 40 % de erosión severa y muy severa | Jagüey Prieto, Tultengo, Vista Hermosa, Sta. Cruz, Alcantarillas y Cocinillas |

Cuadro 2. 1 Superficies y grados de erosión por subcuencas. Fuente. CONAGUA 2005

* Es el área con mayor superficie y erosión.

Las causas que dieron origen al estado actual de erosión en la cuenca, se pueden describir de la siguiente manera:

- Cambio drástico en el uso del suelo.
- Pérdidas de cultivos tradicionales como maguey y nopal.
- Explotación de madera como combustible.
- El pastoreo libre y sin control.
- Falta de mantenimiento en los caminos de terracería.
- Falta de un programa intensivo para la conservación del suelo y el agua.

De no revertirse o al menos detener los actuales niveles de erosión, asociados al alto grado de deforestación de la cuenca, la laguna estará cada vez en mayor riesgo de desecarse y perder con esto la biodiversidad que en ella subsiste.

2.3 Tenencia de la tierra

De acuerdo a la CONAGUA en Hidalgo, la zona de estudio enfrenta serios problemas sobre la propiedad y tenencia de la tierra, ocasionados por un desconocimiento de las autoridades, mismos que se resumen a continuación:

- El 3 de noviembre de 1928 fue creada la colonia de Tecocomulco del municipio de Cuauhtepic, mediante Declaratoria de Utilidad Pública en el entorno de la Laguna de Tecocomulco.
- Por acuerdos presidenciales; uno del 11 de marzo de 1935 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 1935; y otro, del 15 de marzo de 1939 publicado en mayo del mismo año, se ordena que respetan las colonias y pequeñas propiedades tituladas hasta este entonces.
- Los campesinos de los poblados de Tecocomulco, San Antonio, Tres Cabezas y Plutarco Elías Calles solicitan tierras de cultivo en el año de 1937.
- El 22 de septiembre de 1943 por decreto presidencial se decide reducir el vaso de la laguna, para satisfacer las necesidades agrarias de los campesinos mencionados.
- El 10 de marzo de 1951, se ordenó la desecación de la laguna, pero por oposición de los pobladores de comunidades cercanas a la misma no se logra este propósito.
- Para el 9 de enero de 1957 se deroga el acuerdo anterior, manteniéndose vigente a la fecha el decreto del 22 de septiembre de 1943.

- En el año de 1989, a petición del Lic. Adolfo Lugo Verduzco Gobernador del estado de Hidalgo, se realizó una investigación donde participaron los titulares de las delegaciones de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Secretaría de Desarrollo Rural, Secretaría de Desarrollo Rural Integral, Secretaría de la Reforma Agraria y la dependencia Estatal.

Los problemas existentes sobre la tenencia de la tierra se presentan en el área que circunda a la laguna con las colonias de Tecocomulco, Cocinillas, Tultengo, Palo Hueco y los ejidos de Tecocomulco, San Antonio Tres Cabezas, San Miguel Allende y Plutarco Elías Calles (Comisión Nacional del Agua, 2005. p. 85).

Este conflicto que involucra intereses diversos, no ha podido ser resuelto, tomando en consideración que actualmente la laguna se considera sitio RAMSAR (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas con sede en Ramsar, Irán. 1971), donde obliga a nuestro país a proteger la zona lacustre. Al ser muchos los afectados de diversas maneras, no se ha logrado un acuerdo que satisfaga en su mayoría a los perjudicados.

2.3.1 Tipos de tenencia

La superficie de la zona de estudio comprende 54,000 has; de las cuales el 48.64% corresponde a terrenos ejidales, un 27.03% a superficie de propiedad privada y un 7.44% es zona federal.

2.3.2 Superficie ejidal

La zona ejidal comprende 24 ejidos y 8 ampliaciones, suman una superficie de 23,979.81 has. equivalentes al 48.64% de la zona estudiada.

2.3.3 Superficie de propiedad privada

La superficie de propiedad privada suma 13,327.86 has. distribuidas, que representan el 27.03% de la zona de estudio.

La permanencia y desarrollo de las actividades productivas existentes en la cuenca y el entorno de la laguna, no es factible sino se restauran los daños ambientales que está propiciando la erosión de la cuenca y arrastre de sedimentos.

El riesgo de conflictos sociales puede agudizarse en el corto plazo, de no atender esta problemática en forma integral definiendo y ejecutando acciones de restauración, con la participación y apoyo de los sectores productivos, la sociedad y las dependencias de gobierno involucradas.

2.4 Actividades turísticas

En la última década se han desarrollado actividades turísticas en la cuenca, específicamente en el área denominada Barrio del 94, anexo a San Miguel Allende en el Municipio de Tepeapulco. Sobresale la actividad restaurantera, con 21 establecimientos y una capacidad para atender a 1,100 personas (aunque sólo el 75 % de ellos está en servicio). Existe también el paseo en lancha y la caza deportiva de aves acuáticas. Ofrecido por ejidatarios de la ribera poniente de la laguna, organizados en asociaciones tales como la Unión de Lancharos del Barrio del 94, Unión de Restauraneros del Corredor Turístico de la Laguna, Organización de Pesca Allende, Club de Caza, Tiro y Pesca, Divertrón y una Unidad de Manejo de Vida Silvestre UMA Axotl. Estas actividades dan trabajo permanente a 200 personas y eventual a otras 300.

La actividad turística tiene un gran potencial, pero debe resolverse previamente el problema del saneamiento, pues los restaurantes emplazados en el área del embarcadero, así como algunas comunidades cercanas, descargan sus aguas

residuales en la laguna, sin tratamiento previo, originando con ello otra problemática dentro de la cuenca.

El establecimiento de los restaurantes se ha realizado en solo una pequeña porción de la cuenca, misma que no es representativa; al ser instalados en terrenos propiedad de los dueños de los restaurantes en un área que comprende 3 hectáreas aproximadamente.

El desarrollo de actividades turísticas y recreativas alrededor de la laguna, ha propiciado riesgo de enfrentamientos y conflictos sociales entre sector turístico y agricultores. Por un lado quienes viven de las actividades recreativas, tienen interés en sanear y conservar el cuerpo de agua y por su parte los agricultores consideran más productivo aprovechar la superficie de la laguna para incrementar la actividad agrícola, lo que implica ganarle terrenos al vaso de la laguna en épocas de estiaje.

Existen conflictos por la posesión de tierras ubicadas en el vaso de la laguna (inundadas por el cuerpo de agua a causas del excesivo arrastre de sedimentos), consideradas zona federal; así como por la sobreposición de decretos y ordenamientos legales que están en discusión jurídica y por acciones agrarias de dotación de tierras que no se han ejecutado. Para dar una solución favorable a los afectados, se requiere el apoyo y la intervención de la Secretaría de la Reforma Agraria, con el objeto de emitir la opinión jurídica que contribuya a la solución del problema.

La zona de conflicto se ubica en la parte norte de la laguna de Tecocomulco. Véase mapa de la figura 2. 9.

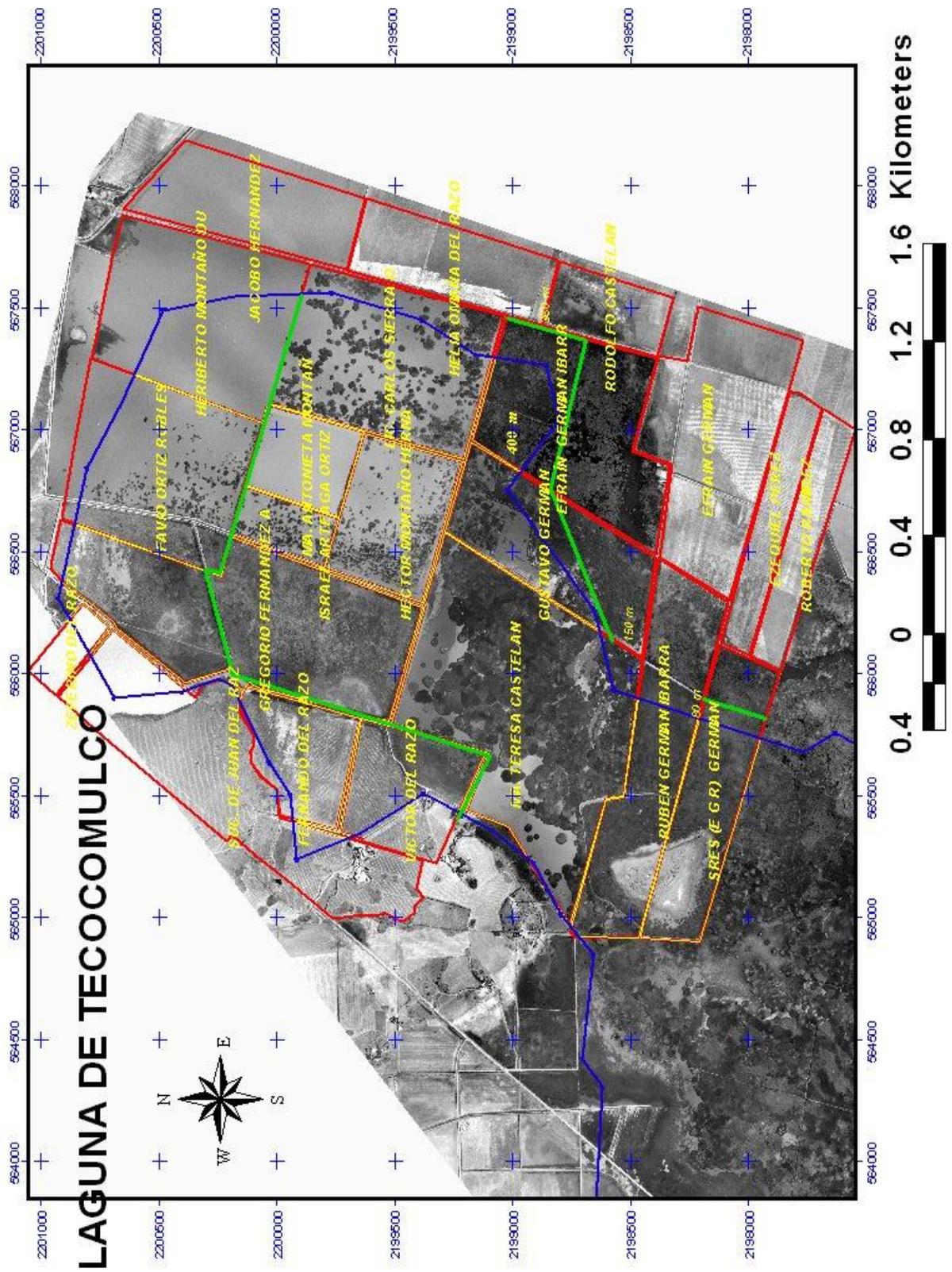


Fig. 2. 9 Mapa donde se refleja el conflicto de tenencia de la tierra. Fuente CONAGUA 2002

La explicación al mapa anterior se realiza de la siguiente manera:

La laguna de Tecocomulco está delimitada por puntos identificados satelitalmente (georeferenciados), se muestra con la línea en azul. Cada punto es un monumento colocado para delimitar físicamente. La parte delimitada con líneas rojas son terrenos aledaños a la laguna, los cuales sufren inundaciones en temporadas de lluvias. La zona crítica se encuentra en la delimitación de la laguna donde se enmarca con anaranjado, es aquí donde se presentan constantemente enfrentamientos entre los propietarios de terrenos, pescadores y personal de las dependencias que buscan una solución a este conflicto. Todo esto ocasionado por la defensa de intereses propios de personas involucradas. Los propietarios alegan tener papeles que acreditan la posesión descrita; la CONAGUA como Órgano Federal encargado de proteger el agua como un bien Nacional, defiende la laguna como cuerpo de agua natural propiedad de la nación; los pescadores defienden la laguna por ser su centro de trabajo y de no tenerla, se perdería la forma de sustento de aquellas familias dedicadas a esta práctica. Para la Secretaría de la Reforma Agraria es importante la defensa de la tierra, por ello ésta a favor de los propietarios que se mencionan en el mismo mapa. Al juntar estos diferentes puntos de vista generan una problemática, puesto que no existe un acuerdo entre las partes involucradas.

2.5 Contaminación

La laguna de Tecocomulco es el receptor de un importante volumen de contaminantes proveniente de las partes altas, debido a los escurrimientos y su capacidad de transporte de sedimentos. Adicionalmente, el inadecuado manejo y disposición de aguas residuales, originadas en las poblaciones establecidas en zonas altas de la cuenca, provoca la incorporación de contaminantes de tipo doméstico y agrícola, entre estos se encuentran fertilizantes, herbicidas y plaguicidas, además de otros efectos adversos, propicia condiciones adecuadas

para la proliferación y desarrollo de plantas acuáticas como es el tule (*Thypa spp.*).

Con el fin de obtener una estimación de la cantidad de contaminantes que llegan a la laguna, es básico realizar la evaluación de la calidad actual del agua e identificar los factores potenciales de contaminación.

Para ello se realizó un análisis de la calidad de agua en la laguna (Comisión Nacional del Agua, 2006. p. 98). Considerando que el dinamismo propio del ecosistema provoca una heterogeneidad en la calidad del agua, se determinó realizar el muestreo en diversas zonas de la laguna, considerando cubrir puntos sujetos a diferentes condiciones de manejo. A partir de este criterio se eligieron cinco zonas de muestreo, siendo estas denominadas de la siguiente manera:

- 1) Zona Restaurantera
- 2) Zona Norte Tecocomulco
- 3) Zona Centro
- 4) Zona Oriente Cocinillas
- 5) Zona Sur Tultengo

En la figura 2.10 se pueden distinguir las zonas seleccionadas. En dicha imagen la tonalidad verde dentro del espejo del agua representa la invasión de tule, el cual abarca entre el 70 y 80 % de la superficie total de la laguna, este hecho propicia un inadecuado movimiento de agua lo que permite la concentración de los contaminantes cerca de las fuentes de aporte. Las particularidades de los sitios se describen a continuación:

Zona Restaurantera. En este sitio se concentra gran parte de la actividad turística, cuenta con dos embarcaderos: uno turístico y el otro ocupado por la asociación de pescadores del ejido de San Miguel de Allende. Es de los sitios con mayor relevancia en cuanto al manejo y disposición de aguas residuales, ya

que concentra a la fecha veintiún restaurantes; los cuales cuentan con fosas sépticas que evidencian un intercambio de flujo sub-superficial entre estas y el nivel freático de la laguna. La distancia media entre las fosas sépticas y la laguna es de 50 metros.

Zona Norte Tecocomulco. Como su nombre lo indica es la zona ubicada en el extremo Norte de la laguna, adjunta a la comunidad de Tecocomulco de Juárez. Este sitio representa el punto de entrada al sistema de la laguna de un importante volumen de agua, proveniente de las subcuencas de Las Ánimas y La Cañada-Tres Cabezas. Adicionalmente la comunidad de Tecocomulco tiene la particularidad de contar con una fosa de oxidación ubicada entre la comunidad y la laguna, a la cual dirigen todos sus desechos domésticos. Dicha fosa no cuenta con ningún elemento impermeable que impida filtraciones hacia la laguna.

Zona Centro. Esta zona se consideró como punto de control para poder apreciar el efecto evolutivo de los elementos contaminantes, entre el extremo norte y la salida. Como su nombre lo indica se encuentra ubicada en la parte central de la laguna. Adicionalmente tiene la particularidad de ser la única zona totalmente inscrita en un área invadida por tule, mismo que limita los movimientos de agua y que a la vez tiene función de controlador biológico de los contaminantes.

Zona Oriente Cocinillas. A esta parte de la laguna llega un volumen considerable de escurrimientos pluviales que llevan consigo los residuos de la actividad agrícola y pecuaria de esta. Se tomó en cuenta también que la presencia de localidades como Cocinillas y Mazatepec estaría aportando aguas residuales de origen domiciliario, por lo que se consideró que es un punto estratégico de muestreo.

Zona Sur Tultengo. Con el objetivo de conocer la calidad del agua a la salida de la laguna, se tomó una muestra en el dren construido para el encauzamiento de excesos de agua cerca del poblado de Tultengo. La toma de esta muestra se consideró importante, porque da una idea de la concentración de contaminantes en el agua una vez adicionado las diversas fuentes de contaminación, en donde se han llevado a cabo procesos de purificación natural.

2.5.1 Proceso de muestreo

Los criterios para la elección de puntos de muestreo y para la toma de muestras en campo, fueron tomados de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 siguiendo el proceso de un muestreo sistemático.

Se identificó en imágenes de satélite y fotografías aéreas los posibles puntos representativos para la toma de muestras en la laguna. Las muestras fueron tomadas por la mañana y trasladadas inmediatamente al laboratorio en un tiempo no mayor a 3 horas para su análisis inmediato.

Para obtener resultados representativos de las zonas de muestreo, se realizó una muestra de 1 litro por cada zona a estudiar, siendo un total de cinco litros de agua los que se recolectaron en total. Para la colección de las muestras se usaron recipientes esterilizados, cuidando que una vez tomada la muestra, no tuviera posibles fuentes de contaminación y por consecuencia alteración en los resultados del análisis.

La muestra fue debidamente identificada y conservada en una hielera con hielos, para mantener la temperatura baja durante el traslado.



Fig. 2. 10 Zonas de muestreo de agua. Fuente CONAGUA 2006

Los parámetros analizados en laboratorio fueron los siguientes:

- Análisis de nutrientes y metales pesados: K (potasio), CO_3 (carbonatos), Cl (cloro), SO_4 (sulfatos) y Pb (plomo).
- Análisis microbiológico: coliformes totales y fecales.
- Características fisicoquímicas básicas: pH (potencial Hidrogeno) y Ce (conductividad eléctrica).
- Determinación de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

2.5.2 Resultados del análisis

El laboratorio de análisis de aguas, suelos y fertilizantes de la Universidad Autónoma Chapingo; proporcionó los resultados en un periodo de 10 días hábiles, proporcionando los diferentes cuadros de resultados.

Las sales analizadas en las muestras, se realizaron con el fin de detectar presencia de residuos de fertilizantes y productos químicos, transportados por las corrientes pluviales de la cuenca, manifestándose en un crecimiento acelerado de especies vegetales acuáticas por exceso de nutrientes. El plomo como un metal pesado, fue analizado para determinar si el funcionamiento de los motores de las lanchas provoca una contaminación significativa. Véase cuadro 2. 2.

| IDENTIFICACIÓN | K | CO ₃ | Cl | SO ₄ | Pb |
|---|-------|-----------------|------|-----------------|------|
| | meq/l | | | | |
| Zona restaurantera | 0.55 | 0.60 | 1.0 | 0.54 | 0.01 |
| Zona Tecocomulco | 0.78 | 1.0 | 0.50 | 0.71 | ND |
| Zona central | 0.56 | 0.40 | 1.0 | 0.54 | ND |
| Zona Cocinillas | 0.42 | 0.80 | 0.75 | 1.97 | ND |
| Zona Tultengo | 0.15 | ND | 0.75 | 3.44 | 0.02 |
| ND: No detectado por el método empleado | | | | | |

Cuadro 2. 2 Resultado del análisis de agua. Fuente CONAGUA 2006

El análisis microbiológico es más importante para la zona restaurantera que pertenece al ejido de San Miguel Allende y para la parte de Tecocomulco de Juárez. Se consideró que Cocinillas también podía aportar cierta cantidad de aguas negras. Sin embargo se hizo el análisis microbiológico y de Demanda Biológica de Oxígeno para los cinco puntos de muestreo, para determinar la influencia de las descargas de contaminantes fecales en toda la laguna. Véase cuadro 2. 3.

| IDENTIFICACIÓN | COLIFORMES TOTALES | COLIFORMES FECALES | DBO |
|--------------------------|--------------------|--------------------|------|
| | nmp/100 ml | | mg/l |
| Zona restaurantera | 640 000 | 1 500 | 25 |
| Zona Tecocomulco | 23 | 0 | 25 |
| Zona central | 23 | 4 | 7 |
| Zona Cocinillas | 43 | 23 | 6 |
| Zona Tultengo | 39 | 23 | 6 |
| nmp: Número más probable | | | |

Cuadro 2. 3 Resultado del análisis microbiológico. Fuente CONAGUA 2006

Los análisis físico-químicos como conductividad eléctrica y pH, dan una idea general de las condiciones del agua en cuanto al contenido de sales o contaminantes.

Por eso en los análisis siempre deben medirse estas características para ser utilizadas como parámetro de comparación, con los análisis detallados. Los resultados se presentan en el cuadro 2. 4.

| IDENTIFICACIÓN | CE (dS/m) | pH |
|---------------------------|------------------|-----------|
| Zona restaurantera | 0.247 | 7.8 |
| Zona Tecocomulco | 0.537 | 8.0 |
| Zona central | 0.196 | 7.9 |
| Zona Cocinillas | 0.093 | 6.3 |
| Zona Tultengo | 0.237 | 6.5 |

Cuadro 2. 4 Resultado del análisis fisicoquímico básico. Fuente CONAGUA 2006

2.5.3 Análisis de resultados

Según los resultados obtenidos y presentados en los cuadros anteriores, en cuanto al contenido de sales, el agua está dentro de los límites permisibles, si es que se utilizara para riego agrícola (<0.75dS/m).

En cuanto al contenido de plomo, este fue casi imperceptible al análisis, y en algunas muestras no se detectó la presencia del metal (cuadro 2. 2). Esto significa que el agua es confiable para la protección de la vida acuática en cuanto a Plomo se refiere. Esto según la NOM-001-ECOL-1996.

El análisis de coliformes indica que la zona restaurantera presenta un valor superior al estipulado por la Norma Oficial Mexicana, para las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y más aún para que los seres humanos tengan contacto directo con el agua de la zona mencionada.

El parámetro de la Demanda Biológica de Oxígeno señala la presencia de material orgánico biodegradable. Según los resultados del laboratorio, el agua en los 5 puntos muestreados tiene un bajo contenido de material biodegradable y por lo tanto cumple con la Norma Ecológica NOM-003-1997 si se está en contacto directo con ella. Los valores de pH en los 5 puntos muestreados están en un rango aceptable para crecimiento de especies acuáticas.

2.6 Deforestación

La deforestación en la cuenca de la laguna de Tecocomulco, es otro de los problemas existentes que se hace muy notorio, debido a la falta de cubierta vegetal en lomas y cerros. Esta problemática dio inicio en el siglo pasado, cuando se comenzó con la expropiación de las haciendas y la repartición de tierras a aquellas personas que no contaban con una propiedad. Posteriormente fue insuficiente la fracción de tierra con que contaban, por lo que era necesario extenderse hacia las partes altas, para poder acrecentar su terreno en posesión. Todo ello aun cuando fuese necesario derribar una gran cantidad de árboles para limpiar la zona y realizar el cambio de uso de tierra, que originalmente consistía en bosque de pino y encino y así convertirse en tierras dedicadas a la agricultura de temporal sin el debido cuidado que esto lleva consigo. Considerando la falta de obras de conservación de suelo y agua, el monocultivo y la falta de rotación de cultivos, excesiva utilización de fertilizantes químicos, entre otros factores dieron origen a las condiciones actuales que derivan en otra problemática como es la erosión.

Para poder revertir este fenómeno es necesario llevar a cabo obras de conservación de suelo y agua, realizar reforestaciones con plantas nativas de la región, buscar nuevas alternativas de producción agrícola que permitan aumentar el ingreso económico de las familias que viven en la cuenca.

Actualmente las áreas agrícolas que se encuentran en las partes altas de la cuenca, son improductivas debido a la erosión existente, el monocultivo y la falta de nutrientes que permiten a la tierra producir vegetación. Véase fig. 2. 11. Originando de esta manera otra problemática a atender, que se puede definir como la falta de capacitación en el manejo de cultivos y nuevas tecnologías de producción a productores agrícolas.



Fig. 2. 11 Muestra de la deforestación en la cuenca para el cambio de uso de suelo.

Como se ha mencionado en la cuenca de la laguna de Tecocomulco se tiene identificada la problemática que existe en ella, es de vital importancia llevar a cabo obras y acciones en los diferentes niveles de Gobierno. Así también en los estratos sociales y económicos pertenecientes a la misma cuenca, para que se pueda lograr revertir de manera pausada las condiciones que se encuentran actualmente en este territorio.

Capítulo tres

Temática de solución de la cuenca de Tecocomulco en cuanto a erosión

3.1 Introducción

Para atender la problemática de erosión en una cuenca, existen dos tipos de prácticas que se pueden realizar para revertir los daños existentes debido a erosión, estas prácticas se definen como preventivas y correctivas (Postgraguados, 1977. p.12).

3.2 Implementación de prácticas preventivas

En las prácticas preventivas como su nombre lo indica, se busca prevenir la erosión en la tierra con obras y acciones que nos ayudan a lograr este objetivo. Estas obras pueden ser muy sencillas, como el correcto uso de los residuos post-cosecha hasta más complejos como implementación de sistemas agroforestales y/o zanjas trinchera, según las necesidades y posibilidades del productor.

Las prácticas preventivas están divididas de acuerdo a su clase y forma de manejo, las cuales son las siguientes:

- Labranza de conservación
- Manejo de residuos de cosecha
- Agroforestería
- Terrazas individuales
- Zanjas trinchera
- Exclusión al pastoreo

A continuación se da una breve explicación de cada una de ellas:

3.2.1 Implementación de labranza de conservación

La labranza de conservación es un sistema de laboreo, en donde se realiza la siembra sobre una superficie del suelo cubierta con residuos del cultivo anterior. Con los cuales se conserva la humedad y se reduce la pérdida del suelo, causada por las lluvias y el viento en suelos agrícolas con riesgos de erosión. Con esta práctica se incrementa la capacidad productiva del suelo, se aumentan los rendimientos y se reducen los costos de producción.

Este sistema mantiene por lo menos un 30 % de la superficie del suelo cubierta con residuos de cultivo (rastrajo) después de la siembra. Los residuos pueden provenir de un cultivo forrajero, de un cultivo de cobertera de invierno, de un grano pequeño o de un cultivo en hilera.

Existen diversos tipos de labranzas de conservación, los cuales se describen a continuación:

3.2.1.1 Labranza en camellones. El suelo se laborea hasta poco antes de la siembra; utilizando escardillos o removedores de residuos, se laborea aproximadamente un tercio de la superficie del terreno en el momento de la siembra. La siembra se hace en bordes o camellones a una altura entre 10 y 15 cm. El control de la maleza se realiza con una combinación de escarda y herbicidas; las labores de cultivo se realizan para reconstruir el bordo. Fig. 3. 1.



Fig. 3. 1 Labranza en camellones.

3.2.1.2 Labranza en franjas. El suelo se deja sin laborear hasta antes de la siembra. Al momento de sembrar, se laborean franjas aisladas del suelo aproximadamente de un tercio del terreno, con arado rotatorio, un cincel en el surco de siembra o un escardillo. El control de malezas se realiza mediante herbicidas y escardas. Véase fig. 3. 2.



Fig. 3. 2 Labranza en franjas.

3.2.1.3 Labranzas de cobertera. En esta modalidad se laborea la superficie total de la siembra. Se utiliza cinceles V de tipo pata de ganso (cincel o azadón). El control de maleza se realiza mediante una combinación de herbicidas y escardas. Véase fig. 3. 3.



Fig. 3. 3 Labranza de cobertera.

3.2.1.4 Labranza cero o no-labranza. No se disturba o laborea el suelo hasta antes de la siembra. La siembra se realiza con implementos que cortan los residuos de cosecha y depositan las semillas en una porción de terreno no mayor de 7 cm. de ancho. El control de maleza se realiza con aplicaciones de

herbicidas. Véase fig. 3. 4.



Fig. 3. 4 Labranza cero o no labranza. Fuente SARH-CP

La decisiones sobre el tipo de labranza a utilizar en el suelo, depende de los implementos que tenga el agricultor, desde la pala, azadón coas, sembradoras, de tiro animal, hasta sembradoras de presión, así como las condiciones climáticas y la presencia de maleza, plagas y enfermedades existentes en su región.

3.2.1.5 Ventajas de la labranza de conservación

Las ventajas que se presentan al utilizar labranza de conservación son:

- Conservar la humedad y reducir la erosión del suelo.
- Reducir los costos de producción.
- Incrementar la productividad del suelo.
- Ahorrar energía, tiempo y mano de obra.
- Reducir la compactación del suelo.
- Mejorar la estructura del suelo y la agregación de las partículas.
- Generar mayor actividad biológica en la superficie del suelo.
- Reducir la infestación de malezas.
- Mejorar el desarrollo de las raíces de los cultivos.
- Mejorar el drenaje interno del suelo.
- Reducir las deficiencias hídricas.

3.2.1.6 Desventajas de la labranza de conservación

- Falta de conocimiento del sistema.
- Se requiere de equipo especial.
- La maleza puede ser un problema, si no se planea su control.
- Deben conocerse características y manejo de herbicidas.

3.2.2 Manejo de los residuos de cosecha

Después de la cosecha, el rastrojo o residuos de la cosecha, deberán ser picados y distribuidos uniformemente sobre el terreno. Se debe controlar malezas que se presenten en el periodo de estiaje. Un manejo eficiente de los residuos de cosecha en labranza de conservación, es la base para lograr una buena siembra de maíz sobre una cubierta de rastrojo; es conveniente dejar por lo menos un 30% de cobertura vegetal sobre el suelo. Véase fig. 3. 5.



Fig. 3. 5 Manejo post-cosecha

La cobertura del suelo aumenta la productividad del mismo y conserva mejor la humedad para el desarrollo de las plantas.

Es importante mencionar que entre más residuos de cosecha se deje sobre el terreno, la erosión es menor y el almacenamiento del agua en el suelo será mayor. La cobertura puede variar desde un porcentaje bajo hasta dejar el 100% de los residuos. Sin embargo, se recomienda dejar en el terreno uno de cada

tres surcos de rastrojo, o sea el 30% de residuos. Un 30% de cobertura logra abatir la erosión hasta un 50% comparado con suelos a base de labranza tradicional, donde no se deja residuo alguno.

Para lograr el mejor beneficio de los residuos como mantos protectores, se recomienda picarlos en trozos de 5 a 10 cm. de largo. Esta práctica se puede llevar a cabo con una picadora de paja o con una máquina asiladora ajustada al tamaño del trozo requerido. El picado y esparcimiento de los residuos puede efectuarse antes de la época de viento (febrero a marzo). Al no llegar la radiación solar directamente al suelo, este retiene una mayor cantidad de su humedad. Debe considerarse también que este sistema de labranza necesita una atención cuidadosa en las diferentes etapas del cultivo, además de la aplicación de agroquímicos y la operación de las sembradoras. Pequeños descuidos pueden resultar en serios problemas. Así mismo es recomendable que los agricultores que no conocen el sistema, inicien trabajando en pequeñas áreas de sus parcelas; de un 25 a un 50% de la superficie total, y luego ir ampliando su aplicación conforme conocen y manejan mejor el sistema.

El costo que implica utilizar el sistema de labranza de conservación se presenta en el cuadro 3. 1.

| CONCEPTO | APLICACIONES | COSTO |
|--|--|-------------------|
| Preparación de terrenos | Aplicación de herbicida | 350.00 |
| | 2 jornales para la aplicación | 300.00 |
| | Arado de la tierra | 650.00 |
| Fertilización (7200 m ² por ha) | Aplicación de 165 kg. de urea | 950.00 |
| | Aplicación de 108 kg. de superfosfato | 890.00 |
| | Aplicación de cloruro de potasio | 450.00 |
| Cosecha y manejo de residuos | 15 jornales para recolección de residuos | 2,250.00 |
| | Renta de picadora | 650.00 |
| | 7 jornales para esparcir | 1,050.00 |
| TOTAL | | \$7,540.00 |

Cuadro 3. 1 Costos de establecer un sistema de labranza de conservación.
Fuente CONAGUA 2005

3.2.3 Agroforestería

La Agroforestería: es un conjunto de prácticas que se ha desarrollado principalmente en las zonas tropicales de México (sureste de México), aplicables en pequeñas superficies, utilizando mano de obra familiar. Más que una actividad comercial, es una forma de obtener alimentos y materias primas básicas para la supervivencia de las poblaciones rurales. La venta de excedentes ofrece un ingreso estable y diversificado, al obtener dos o más productos de su parcela es menor la dependencia con los mercados. La producción se halla menos expuesta al ataque de plagas, enfermedades y fenómenos atmosféricos; como pueden ser vientos, sequía, inundaciones, por lo tanto su tecnología tradicional va encaminada a minimizar los riesgos de la producción y obtención de cosechas de manera estable, que en obtener una producción abundante (Combe, 1979. p. 35).

Dentro de los sistemas agroforestales, las prácticas culturales y en general la tecnología utilizada es muy rudimentaria, se utiliza tracción animal, poco uso de pesticidas y mucho uso de mano de obra comunitaria. Su práctica es ancestral, transmitiéndose de generación en generación, de padre a hijo, por lo que puede afirmarse que todos los sistemas agroforestales por su extracción, son propios de los países en vías de desarrollo. Por lo general este conjunto de conocimientos representa su patrimonio, que los distingue en un grupo cultural determinado. Dichos grupos por lo regular son los más marginados, no tienen acceso a créditos, programas de asistencia técnica y en general a ningún tipo de programa gubernamental.

Para definir los sistemas agroforestales (SAF), tomaremos la definición de Combe y Budowsky (1979) (Altieri, Miguel Angel; Hecht, Susana; Liebman, Matt; Magdoff, Fred; Norgaard Richard y Sikor, Thomas, 1996. pp. 22), en donde mencionan que los sistemas agroforestales “*son el conjunto de técnicas de manejo de tierras, que implica la combinación de árboles forestales, ya sea*

con la ganadería o con los cultivos". La combinación puede ser simultánea o escalonada en tiempo o en espacio. Las características de los sistemas agroforestales se pueden resumir en seguida:

- a. La diversificación de las actividades productivas, reduce el riesgo de catástrofes económicas; elemento esencial en los sistemas del pequeño productor.
- b. Los pequeños productores pueden llegar a producir en los bosques, alimentos de origen animal, sin sacrificar el área dedicada a cultivos. Se logra así una diversificación de insumos, de mano de obra y la naturaleza de los productos del sistema.
- c. Además de las ventajas directas, los productores pueden obtener beneficios económicos resultantes de la leña, postes, madera y forraje.
- d. La ganadería permite la utilización y control de pastos y malezas que compiten con el desarrollo de árboles frutales o palmas, la labor de limpieza que hace el ganado sobre el pastizal, facilita la cosecha de frutos.
- e. En el caso particular de la ganadería asociada con árboles fijadores de nitrógeno, es lógico suponer que éstos contribuirán con la fertilidad del suelo, además de ser un suplemento proteico cuando sus hojas y ramas comestibles son utilizadas como forraje.
- f. El efecto compactante que el pisoteo del ganado tiene sobre el suelo, podría estar compensado por el efecto que las raíces tienen sobre la porosidad, capacidad de filtración y aireación del suelo. Sin embargo, este punto requiere comprobación.
- g. Prácticas como cosechas mecanizadas de cultivos, henificación o ensilado, se ven afectadas por la interferencia de los árboles a menos que la plantación de éstos se planifique con estos fines, ya sea usando líneas simples o franjas.

3.2.3.1 Clasificación de los sistemas agroforestales

Debido a la gran diversidad en cuanto a especies vegetales y a condiciones ambientales en las cuáles se presentan, es útil contar con una clasificación que dé cabida a todos los sistemas agroforestales.

Combe y Budowsky; (1979), proponen la siguiente clasificación, según el enfoque:

Agrosilvicultura. Se combina en la misma unidad productiva, el cultivo de especies forestales con cultivos agrícolas, siendo éstos el objetivo primario en la producción.

Agropastoril. Se combina en la misma unidad productiva, el cultivo agrícola con la producción de forraje o el pastoreo, siendo el cultivo agrícola el objetivo primario en la producción.

Silvoagricultura. Se combina en la misma unidad productiva, el cultivo de especies forestales con cultivos agrícolas, siendo las especies forestales el objetivo primario en la producción. Por ejemplo en pequeñas superficies dedicadas a la agricultura dentro de un bosque que se encuentra sujeto a aprovechamiento forestal.

Silvopastoril. Se combina en la misma unidad productiva, el cultivo de especies forestales con la producción de forraje o el pastoreo, siendo el aprovechamiento de especies forestales el objetivo primario en la producción.

Pastorilsilvicultura. Se combina en la misma unidad productiva, la producción de forraje o el pastoreo con el cultivo de especies forestales, siendo la obtención de forraje el objetivo primario en la producción.

Pastorilagricultura. Se combina en la misma unidad productiva, la producción de forraje o el pastoreo con cultivos agrícolas, siendo el aprovechamiento de forraje el objetivo primario en la producción.

Sistemas agrosilvopastoriles. Combinan en la misma unidad productiva, los tres componentes, esto es, cultivo de especies forestales, agrícolas y forrajeras (o pastoreo). El objetivo primario de producción puede darse para cualquiera de los tres componentes o incluso en combinación.

3.2.4 Terrazas individuales

Las terrazas individuales: son una modificación de la terraza de banco o bancal y consiste en un terraplén circular u óvalo, que se construye a nivel o con pendiente según el caso. Es utilizada ampliamente en frutales y en terrenos con pendientes mayores al 20%. Este tipo de terrazas permite el control de la erosión, una mayor infiltración, un mejor aprovechamiento de los fertilizantes, especialmente útil en regiones secas de escasas lluvias, en las cuales es necesario conservar las mayores cantidades de humedad en los terrenos (Comisión Nacional Forestal, 2004. p. 127).

3.2.4.1 Criterios para el diseño de terrazas

Las terrazas individuales deben localizarse siguiendo las curvas de nivel del terreno y construir las en forma alterna de una curva a la siguiente, tratando de interceptar los escurrimientos superficiales. Véase fig. 2. 6.



Fig. 3. 6 Diseño de terraza individual. Fuente SEMARNAT 2004

El diámetro de la terraza debe estar en función de la amplitud de la copa del árbol y debe dársele una pendiente, en dirección opuesta a la pendiente natural del terreno con salidas hacia ambos lados del plato.

Para el diseño de sistemas de terrazas individuales debe seguirse el siguiente procedimiento:

1. Calcular la pendiente media del terreno.
2. Calcular el espaciamiento que debe existir entre hileras de terrazas.
3. Trazar curvas a nivel a separaciones iguales al espaciamiento calculado.
Es conveniente mencionar que cuando las curvas se separan demasiado, se deberá intercalar una nueva curva de nivel y cuando las curvas se cierran, será necesario eliminar una de ellas.
4. Se determina el diámetro de la terraza y el espaciamiento que debe haber entre árboles.

El diámetro de la terraza está en función de la copa del árbol o especie por establecer. Para especies arbustivas el diámetro mínimo es de 2 a 3 metros, para especies como manzano, aguacate y nogal.

La construcción de la terraza se inicia con el trazo de curvas de nivel; con el fin de marcar las líneas guías que indicarán la ubicación de las terrazas. Véase fig. 3. 7.



Fig. 3. 7 Diseño y construcción de terrazas.

Se colocan estacas sobre las curvas a nivel, cuyas distancias entre ellas contemplen el diámetro y la separación entre árboles.

Se debe trazar el círculo que cubrirá la terraza y se procede a rebajar la parte alta (corte vertical), cuya tierra excedente se pasará a la parte inferior, que es donde se va a formar propiamente el terraplén al conformar el talud, con una inclinación que variará de 2:1 a 3:1 para darle estabilidad.

Conformar ahora el talud o terraplén en forma de media luna. A su vez, se cuidará de dejar en el piso del círculo una contrapendiente de 5 a 10%, según necesidades de agua del cultivo, tipo de suelo y precipitación. Enseguida, se excava en el centro de la terraza la cepa donde se colocará el árbol.

En la figura 3.8, se presenta el diseño de las terrazas individuales y sus criterios.

El cuadro 3.2 ejemplifica los costos que implica aplicar terrazas individuales en una hectárea de terreno.

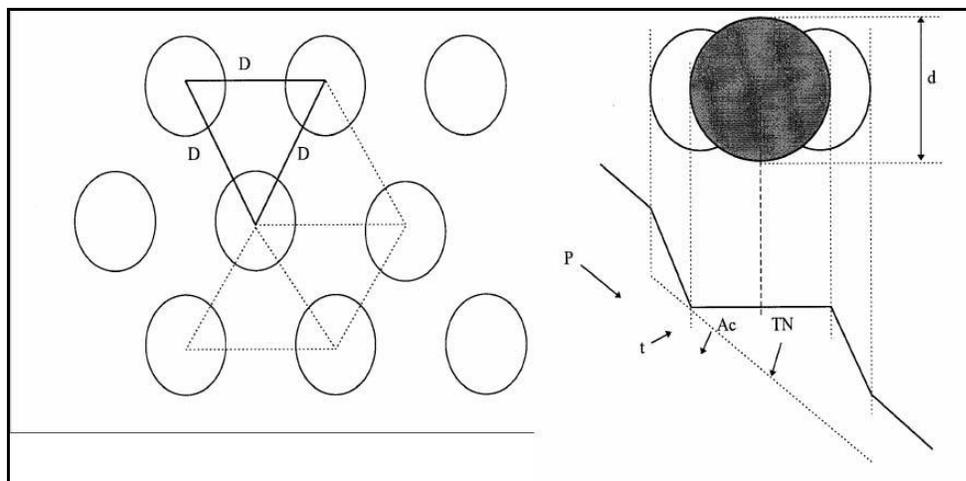


Fig. 3. 8 Vistas de las terrazas individuales en planta

En donde:

TN= Terreno natural.

T= Talud.

D= Distancia.

d= Diámetro de la terraza.

P= Pendiente media.

Ac= Área de corte.

| CONCEPTO | COSTO |
|---|--------------------|
| Diseño y elaboración del proyecto ejecutivo | 6,200.00 |
| Construcción de la obra | 9,500.00 |
| Renta de equipo y material | 6,000.00 |
| Subtotal | 21,700.00 |
| IVA (16%) | 3,472.00 |
| Total | \$25,172.00 |

Cuadro 3. 2 Costos de construcción de terrazas de formación sucesiva.

Fuente CONAGUA 2005

3.2.5 Zanjas trinchera o tinas ciegas

Este tipo de manejo es la aplicación de zanjas y bordos (excavaciones) en forma discontinua sobre curvas de nivel de 0.4 m. de ancho x 0.4 m. de profundidad y 2 m. de longitud en promedio, trazadas a tres bolillo y separadas por un dique divisor entre zanja y zanja de 2 m. de largo. También reciben el nombre de tinas ciegas. Véase fig. 3. 9.

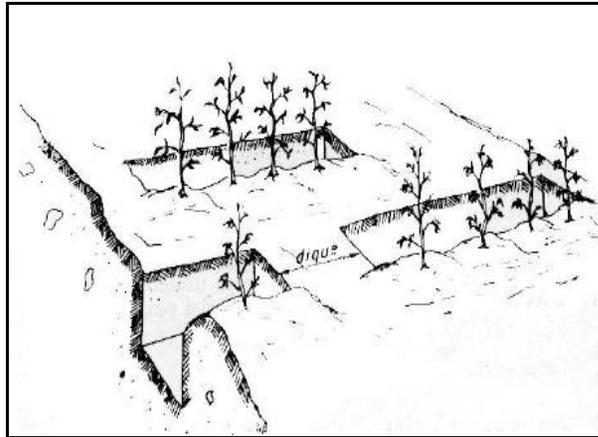


Fig. 3. 9 Zanjas trinchera. Fuente SAGARPA 2005

La construcción y establecimiento de este tipo de obras de conservación de suelo y agua tiene como objetivos, los siguientes:

- Retener azolves y disminuir la erosión hídrica.
- Favorecer una mayor infiltración de agua.
- Retener y conservar humedad en áreas localizadas.
- Favorecer el desarrollo de especies forestales y de vegetación.
- Recargar de los mantos acuíferos.
- Reducir de la velocidad del escurrimiento superficial.
- Se pueden utilizar las líneas de las tinas como brechas cortafuego.

Para realizar el diseño de las tinas ciegas, se debe conocer la distancia entre curvas a nivel sobre las que se construirán las zanjas; para ello es necesario calcular la pendiente media del terreno, así como las dimensiones de estas. Para determinar el distanciamiento entre líneas de zanjas se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Se estima el escurrimiento considerando una lluvia máxima para un período de retorno de cinco años (expresado en mm).
2. Se multiplica por 0.5, tomando en cuenta que se podrá captar el 50% del total escurrido.

3. Con estos datos obtenemos el área de escurrimiento, para lo cual se divide el volumen de excavación o capacidad de almacenamiento de cada zanja entre el escurrimiento a captar expresado en metros.
4. Ya que cada zanja es de 2 metros el resultado del punto 3 se divide entre dos.
5. Para obtener la distancia entre líneas consecutivas el resultado del punto anterior se divide nuevamente entre dos, ya que el dique divisor es también de 2 metros. Los costos de las zanjas se da en el cuadro 3. 3.

| CONCEPTO | UNIDAD DE MEDIDA | COSTO UNITARIO | CANTIDAD REQUERIDA | COSTO POR ACTIVIDAD |
|-------------------------|------------------|----------------|--------------------|---------------------|
| Trazo de curvas a nivel | Jornal | 150.00 | 0.5 | 75.00 |
| Limpia del terreno | Jornal | 150.00 | 0.75 | 112.50 |
| Excavación | Jornal | 150.00 | 12 | 1800.00 |
| Conformación del bordo | Jornal | 150.00 | 2 | 300.00 |
| Total | | | | \$2,287.50 |

Cuadro 3. 3 Costos para la producción de zanjas trinchera. Fuente CONAGUA 2005

3.2.6 Exclusión al pastoreo

Esta práctica consiste en controlar el acceso del ganado en áreas específicas dedicadas al pastoreo o de uso diferente, en las que se requiere restringir la presencia de animales y/o personas, con la finalidad de rehabilitar la vegetación y el suelo, observándose en ellas una cobertura vegetal menor al 50%. También se denomina pradera bajo manejo mostrada en la fig. 3.10.



Fig. 3. 10 Pradera bajo manejo. Fuente CONAFOR 2004

La finalidad de aplicar este tipo de práctica se resume en la conservación de los recursos naturales, existentes dentro del área a que se aplica al momento de:

1. Proteger, mantener y mejorar las poblaciones vegetales y de vida silvestre existentes en el área.
2. Permitir el desarrollo de cobertura vegetal que promueva la conservación del suelo y de los recursos naturales en general.
3. Incrementar la belleza natural del área con fines productivos y recreativos.

3.2.6.1 Consideraciones en la planeación

1.- Esta práctica se debe aplicar en áreas de vocación pecuaria, forestal, de recarga hidrológica, o de valor estético y/o recreacional, en las que la vegetación existente se encuentra amenazada por la presencia del ganado y los efectos del pastoreo, así como por daños causados por la erosión. Ver fig. 3.11.



Fig. 3. 11 Área de aptitud ganadera

2.- De forma similar, se excluirá la presencia del ganado en áreas que han sufrido altos índices de degradación por sobrepastoreo, con problemas de erosión o susceptibles a este fenómeno por efecto de pendientes pronunciadas, presencia de cárcavas, pérdidas evidentes de suelo y contaminación de cuerpos de agua por azolvamiento.

3.- La exclusión al pastoreo se efectuará mediante el levantamiento de cercos alrededor de las áreas definidas bajo los criterios arriba expuestos, considerando en caso necesario aislar el área, incluso para la fauna silvestre consumidora de forraje. Véase fig. 3. 12.



Fig. 3. 12 Cercado de área para exclusión de pastoreo

El establecimiento de cercos seguirá los señalamientos para la planeación de dicha práctica, expuestos en el cuadro 3. 4.

| ESPECIE | DISTANCIA ENTRE POSTES m. | No. DE HILOS DE ALAMBRE | ALTURA MINIMA DEL CERCO |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Equinos Bovinos | 6.0 - 9.0 | 4 a 5 | 1.2 |
| Ovinos | 6.0 - 9.0 | 11 | 1.2 |

Cuadro 3. 4 Parámetros recomendados para actividad de exclusión de pastoreo

No obstante, debe tomarse en cuenta la posibilidad de utilizar malla de alambre alrededor del área de interés y en casos particulares, prolongar esta malla por debajo de la superficie del suelo, para lograr la exclusión de algunas especies de animales silvestres como conejos y liebres.

3.3 Implementación de prácticas correctivas

Para las prácticas correctivas se requiere de una mayor inversión, pues como su nombre lo indica se busca corregir los estragos ocasionados por la erosión, en ocasiones de proporciones considerables. Para este tipo de prácticas se requiere de una mayor aportación de recursos, tomando en consideración que la implementación de estas técnicas se realiza mediante el uso de presas de piedra acomodada y de gavión

3.3.1 Represas de piedra acomodada para controlar cárcavas

Se llama represa de piedra acomodada a la estructura construida con piedra acomodada, las cuales se acomodan transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utilizan para el control de la erosión en cárcavas.

Una cárcava es una forma producida por la socavación repetida sobre el terreno, debido al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales.

Durante la secuencia de trabajos a desarrollar para el control de las cárcavas, se pueden distinguir tres etapas diferentes que son:

1. La prevención y detención de la erosión remontante, para evitar el crecimiento de la cárcava aguas arriba, a esta operación se le denomina cabeceo de la cárcava o de las torrenteras.
2. La disminución de la erosión de los taludes y del fondo de la cárcava hasta donde sea posible.
3. El relleno y estabilización final de la misma por medio de diversas estructuras y el establecimiento de la vegetación ecológicamente adaptada al lugar.

Estas estructuras se clasifican generalmente como temporales y permanentes, según sea el material empleado en su construcción y se conocen con el nombre de presas de control de azolves. Sirven para disminuir la velocidad del agua en cárcavas, así como para evitar la erosión al estabilizar el fondo y las laderas mismas.

Con el uso de presas de control de azolves se logra estabilizar en forma casi total el fondo de las cárcavas, se reduce la velocidad del agua y el deterioro en los taludes de la cárcava tratada. La estabilización será total cuando se desarrolle vegetación permanente y se retenga suelo en el sitio.

3.3.1.1 Procedimiento de construcción de una presa

1. Se limpia el fondo de la cárcava donde va a quedar la presa y se hace una zanja a una profundidad y ancho de acuerdo al diseño de la presa.
2. Se hacen empotramientos en los taludes de las cárcavas cuyas dimensiones estarán en función del material de la sección.
3. La zanja se llena con piedra para formar la cimentación y posteriormente se van colocando hiladas de piedra, hasta cumplir con las especificaciones para el talud y la altura de la presa.

Para explicar mejor el método antes descrito se pueden considerar los siguientes pasos.

a) Dimensiones de las represas

Las dimensiones de la represa serán mayores a las de la cárcava, pues debe considerarse el empotramiento tanto lateral como en el fondo de la cárcava. Para cada caso particular, la altura y ancho de la represa variará de acuerdo a las características de la cárcava a controlar. Las medidas de los taludes de la

represa, tanto aguas arriba como aguas debajo de la misma, así como el ancho de la corona, la longitud y altura del reborde del delantal están en función de la cárcava.

b) Cabeceo de la cárcava

Esta estructura tiene la finalidad específica de controlar el inicio o cabeza de la cárcava. En general lo que hace es una rápida con el piso protegido por un zampeado de piedra o de concreto reforzado. Para su construcción, debe primero suavizarse la cabeza de la cárcava, proporcionándole taludes de 30 a 40%. Usualmente esta estructura se emplea conjuntamente con una presa de control de azolve situada precisamente al pie de la rápida.

c) Empotramiento o anclado de las estructuras

Aumenta considerablemente la estabilidad de las presas, lo cual es importante sobre todo en aquellos casos en que los escurrimientos que conduce la cárcava son de gran magnitud. El empotramiento en los taludes tiene como finalidad principal el impedir que el agua flanquee la estructura y origine socavaciones en los flancos, que puedan producir un deslave en la cárcava.

d) Vertedores de las presas de control

Todas las presas de control de azolve deben contar en su parte central, con una escotadura o vertedor, capaz de permitir el paso del gasto máximo que pueda llevar la cárcava. Para calcular la capacidad de descarga del vertedor, se considera la intensidad máxima de la lluvia con un periodo de retomo de 10 años. Los vertedores se consideran como del tipo de cresta ancha y por lo tanto, su descarga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = 1.45 L H^{3/2}$$

Donde:

Q = Gasto (l/seg)

H = carga sobre la cresta del vertedor (m)

1.45 = Coeficiente del vertedor

L = Longitud efectiva del vertedor (m)

e) Delantales

Para proteger el fondo de la cárcava en la zona inmediata aguas abajo de la caída, se debe realizar un revestimiento formado con piedra para impedir que la fuerza del agua origine socavaciones que pongan en peligro la estructura.

Cuando la pendiente es mayor a 15%, la longitud del delantal se recomienda sea de 1.5 veces la altura de la presa y cuando la pendiente sea menor a 15% la longitud se debe ampliar a 1.75 veces la altura de la presa. Vea fig. 3. 13.

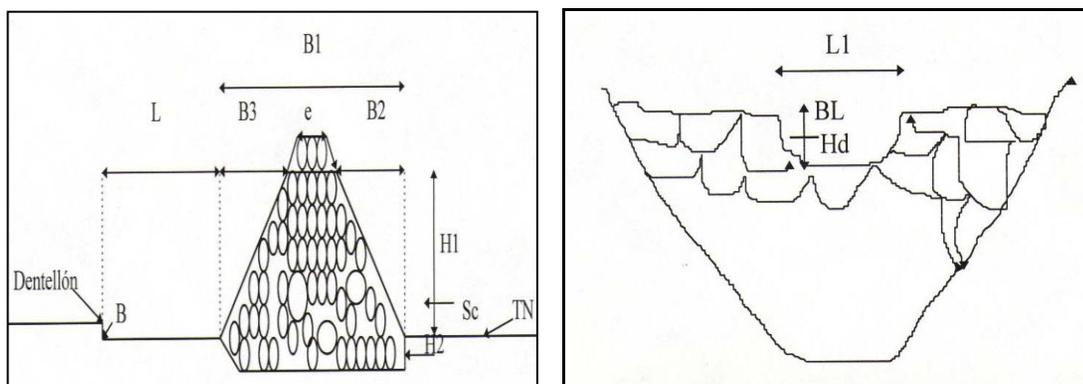


Fig. 3. 13 Sección transversal y longitudinal de una presa. Fuente CONAFOR 2004

Los cálculos del costo de la elaboración de una presa de piedra acomodada están explicados en el cuadro 3.5., donde se estima una presa de 1 metro cubico (Comisión Nacional Forestal, 2004. P. 95).

| CONCEPTO | COSTO |
|--|-------------------|
| Desmonte, desenraice y limpia superficial en áreas de construcción | 150.00 |
| Trazo y nivelación | 150.00 |
| Despalme en áreas de construcción | 250.00 |
| Excavación a mano en diferentes tipos de material | 300.00 |
| Pepena o recolección de piedra | 150.00 |
| Sobre acarreo de la piedra | 150.00 |
| Empotramiento de la presa | 150.00 |
| Plantilla de la presa | 150.00 |
| Acomodo de la piedra por m ³ | 750.00 |
| Total | \$2,200.00 |

Cuadro 3. 5 Presupuesto para la construcción de una presa de piedra acomodada. Fuente CONAFOR 2004

3.3.2 Presas de gaviones

Este tipo de estructura es de tipo permanente, se emplea para controlar la erosión en cárcavas de diferentes tamaños y profundidades, siempre y cuando se considere el aspecto de estabilidad en las construcciones de gran magnitud.



Fig. 3. 14 Muestra de un gavión. Fuente Gaviones LEMAC

Esta estructura está formada por una serie de gaviones dispuestos convenientemente y unidos unos a otros por medio de ligaduras de alambre. Los gaviones son una caja en forma de paralelepípedo, construida con malla de alambre de triple torsión galvanizado. Véase fig. 3.14.

Un gavión queda definido por medio de sus dimensiones: largo, ancho y alto, el tamaño de sus mallas y el grueso del alambre que lo constituye.

El grosor del alambre que forma la malla está en función del tamaño de la misma, de tal manera que cuanto mayor es el grosor del alambre, mayor será el tamaño de la malla. El objetivo de esta práctica es que permite el paso del agua a través de los canales que forman las piedras de la presa.

Las medidas más usuales de estos alambres y las mallas que forma el gavión se muestra en el cuadro 3.6.

| CARACTERÍSTICAS DE LA MALLA DE ALAMBRE | |
|---|-------------------------|
| Diámetro del alambre (mm) | Tamaño de la malla (cm) |
| 2.0 | 5 x 7 |
| 2.4 | 8 x 10 |
| 3.0 | 12 x 14 |

Cuadro 3. 6 Características de la malla de alambre

Cabe señalar que para obtener un mejor resultado en la construcción de estructuras donde se utilizan gaviones, éstos deben tener la forma más perfecta posible; es decir, aproximadamente al máximo la forma de un bloque regular. Así se evitan deformaciones y convexidades en sus caras, de tal manera se logra un buen asentamiento o contacto íntimo entre un gavión y los adyacentes.

Por su parte, en el cuadro 3.7 se presentan las medidas comerciales de los gaviones existentes en el mercado que algunas empresas ofrecen.

| LARGO (m) | ANCHO (m) | ALTO (m) | CAPACIDAD (m ³) | LARGO (m) | ANCHO (m) | ALTO (m) | CAPACIDAD (m ³) |
|--------------|--------------|-------------|--------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------------|
| 1 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 2 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 2 | 1.0 | 1.0 | 2.0 |
| 3 | 1.0 | 0.5 | 1.5 | 3 | 1.0 | 1.0 | 3.0 |
| 4 | 1.0 | 0.5 | 2.0 | 4 | 1.0 | 1.0 | 4.0 |
| 5 | 1.0 | 0.5 | 2.5 | 5 | 1.0 | 1.0 | 5.0 |

Cuadro 3. 7 Medidas comerciales de los gaviones. Fuente: Gaviones LEMAC

3.3.2.1 Proceso de construcción

En esta clase de estructuras hay que distinguir dos partes principales, que son: la base de cimentación y el cuerpo de la misma obra o presa.

La base de cimentación es necesaria para proteger la obra entera contra las socavaciones en el lecho de la cárcava, ocasionadas por el escurrimiento de la misma, ya que puede poner en peligro la estabilidad de la estructura.

El espesor del delantal está constituido por una hilera de gaviones terminados en escalón de salida o un colchón hidráulico. El cuerpo de la estructura queda constituido por una o varias hiladas de gaviones, de acuerdo con la altura que se deseé dar a la presa de control.

Para este tipo de estructura no hay que olvidar que resulta de gran importancia vigilar el adecuado empotramiento de la presa de control, tanto en los taludes de la cárcava, como en el lecho de la misma. Además hay que procurar la formación de un vertedor, capaz de conducir el gasto máximo que se calcule, con base a ciertos eventos de lluvia. Debe considerarse la separación entre cada una de las estructuras, tomando en cuenta los criterios señalados con anterioridad.

El uso de esta clase de estructura es muy ventajoso desde el punto de vista de adaptabilidad a diversas condiciones, es fácil de construir aún en zonas inundadas; funciona como presa filtrante, controla eficientemente la erosión en cárcavas de diferentes tamaños y tiene un costo relativamente bajo

En la figura 3.15, se muestra el diseño de una presa de gaviones con sus características constructivas señaladas. En el cuadro 3. 8. se expresa el costo por metro cúbico para realizar una presa de gaviones.



Fig. 3. 15 Construcción de la presa de gaviones

| CONCEPTO | UNIDAD DE MEDIDA | COSTO UNITARIO | CANTIDAD REQUERIDA | COSTO POR ACTIVIDAD |
|------------------------------|------------------|----------------|--------------------|---------------------|
| Materiales y herramientas | lote | 1,200.00 | 1 | 1,200.00 |
| mano de obra | jornal | 150.00 | 4 | 600.00 |
| Diseño, dirección y asesoría | Asesoría | 700.00 | 1 | 700.00 |
| Subtotal | | | | 2,500.00 |
| IVA (16%) | | | | 400.00 |
| Total | | | | 2,900.00 |

Cuadro 3. 8 Costos por metro cúbico de una presa de gaviones. Fuente CONAFOR 2004

Capítulo cuatro

Propuesta de solución a los problemas de actividades turísticas

4.1 Introducción

Como se explicó en el capítulo 2 el conflicto existente entre pobladores de la cuenca de la laguna de Tecocomulco y Dependencias de Gobierno Estatal y Federal, se ha presentado desde hace aproximadamente 50 años. Pero en estos últimos cinco se incrementó considerablemente, debido al establecimiento de restaurantes, embarcaderos para lanchas de motor, actividades acuícolas y de esparcimiento, que se obtiene como resultado de la promoción turística respecto a la laguna de Tecocomulco, descuidando de manera poco notoria las actividades agrícolas.

Estas actividades no están peleadas entre sí, pero la defensa de los intereses propios de los involucrados, genera una serie de enfrentamientos entre los habitantes de cada una de las comunidades y de los grupos implicados.

Para dar solución a los conflictos antes mencionados, se necesita que autoridades de las dependencias implicadas decidan la forma en cómo resolver el problema. Si las parcelas que defienden algunos pobladores con papeles, son legales o no, y también considerar la opción de indemnizar las tierras que en algún momento se pudieran expropiar para el vaso de la laguna al momento de decidir la solución al problema.

Como este problema es tan complicado por lo antes mencionado y en base a la experiencia adquirida durante el tiempo laborado en este territorio, no se tomara en consideración para este trabajo, ya que este tema en particular puede ser motivo de otra línea de investigación similar a la que presento.

Para la parte de actividades turísticas hace falta dar una solución, así como contar con una regulación local, que permita de forma controlada el crecimiento de establecimientos sin sobre-explotar los recursos con los que se cuentan actualmente; de igual manera el crecimiento deberá darse alrededor de la laguna y no solo en una parte de la misma.

En el cuadro 4.1 se describen las organizaciones reconocidas que laboran en torno a la laguna de Tecocomulco, todas ellas tienen que ver con la parte del sector turismo por la actividad que realizan. Es importante resaltar aquí la gran discrepancia en la forma de aprovechamiento o explotación de los recursos naturales de la laguna; puesto que en mayoría exceptuando restaurantes, las actividades se realizan al interior de la laguna. De todas las comunidades alrededor de la laguna, únicamente 3 son las que están haciendo uso de la misma. Es aquí la parte en donde los habitantes de otras comunidades exigen a las autoridades poder realizar actividades de este tipo en el interior de la laguna, no teniendo hasta el momento una respuesta favorable.

El cuadro surge derivado de los recorridos de investigación en campo realizados a través de la cuenca, debido a la necesidad de recopilar de manera personal y verídica las formas de como los pobladores de esta región aprovechan los recursos naturales que se encuentran en ella.

| Organización | Nombre del Representante | Giro | No. de integrantes | Dirección | Observaciones |
|---|---|--------------------------------------|---------------------------|---|---|
| SSS Producción Pesquera Allende | Gregorio Aguilar Flores | Servicio Turístico (paseo en lancha) | 21 | Barrio del 94, San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Cuentan con embarcadero a la orilla de la laguna |
| | | Pesca | 21 | Barrio del 94, San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Realizan sus actividades en la laguna y en corrales de cría. Cuentan con permiso de pesca de la SAGARPA |
| | | Servicio de Restaurant "Las Brisas" | 21 | Barrio del 94, San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Lo tiene en renta el C. Domingo Sabiñón del Razo. El restaurante cuenta con una fosa de absorción. |
| SSS Producción Pesquera Laguna de Tecocomulco | José Guadalupe Olvera Luna | Pesca | 18 | Tecocomulco de Juárez, Cuauhtepic, Hgo. | Realizan sus actividades en el interior de la Laguna. Cuentan con permiso de pesca de la SAGARPA |
| Unión de Lancheros del Barrio del 94, Laguna de Tecocomulco | Víctor Oropeza Cruz (Pte.) José Luís Gala Balderas (representante) | Servicio Turístico (paseo en lancha) | 20 | Barrio del 94, San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Cuentan con permiso de la Marina Mercante y utilizan embarcadero a la orilla de la laguna |
| Club Caza, Tiro y Pesca, Allende A.C. | Juan López Bautista | Cacería | 55 | Barrio del 94, San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Realizan sus actividades en el interior de la Laguna. |
| Unión de Restauranteros del Corredor Turístico de la Laguna Tecocomulco | Guadalupe Eduardo Juárez López | Servicio de Restaurant | 8 Restaurantes | Barrio del 94, San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Cada restaurante cuentan con una fosa de absorción. |
| UMA Axolott | Salomón Morales Vargas | Cacería y reforestación | 150 Ejidatarios | San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Realizan sus actividades en terrenos ejidales y el interior de la Laguna. |
| UMA El Cazador | Gabriel Arichea | Cacería | 3 | San Miguel Allende, Tepeapulco, Hgo. | Adquirieron 17 has. para su registro (se desconoce si aun las tienen) |
| SPR San Ki Anan Ganadero Agroindustrial | Esteban Cerón Hernández | Producción de peces | 7 | Tecocomulco de Juárez, Cuauhtepic, Hgo. | Tienen zanjas donde producen carpa, utilizando agua de escorrentías |
| SPR Isla de Montecristo | Miguel Romero Jardines | Producción de peces | 7 | Isla de Montecristo, Tecocomulco, Cuauhtepic, Hgo. | Tienen zanjas donde producen carpa, utilizando agua de escorrentías |
| Sociedad Cooperativa La Nueva Esperanza de Cocinillas SC de RL De CV. | Héctor Ortega Saldaña | Producción de peces | 22 | Cocinillas, municipio de Apan | Realizan sus actividades en la laguna y en corrales de cría. En espera de su permiso de pesca. |

Cuadro 4. 1 Censo de organizaciones establecidas alrededor de la laguna con giro turístico 2008

Si las autoridades permiten que todas las comunidades que circundan a la laguna, realicen actividades donde se exploten los recursos naturales existentes, para las actividades turísticas y de recreación realizadas cotidianamente tendríamos sobre-explotación de la misma laguna, por lo que se sugiere un planteamiento de la problemática de manera organizada.

Es por ello que a continuación se exponen una serie de proyectos alternativos, que pueden ser viables para aquellas comunidades que aún no cuentan con un aprovechamiento al interior de la laguna. Con la ayuda de ello se pudieran generar recursos económicos para los habitantes; sin tener la necesidad de sobre-explotar la laguna e igual manera buscar una armonía con el entorno natural con que cuenta esta cuenca.

4.2 Propuesta de proyectos alternativos para la explotación de la cuenca de Tecocomulco

A continuación se da la explicación de dos propuestas de proyectos productivos que pueden ser aplicados en las comunidades de la cuenca de la laguna de Tecocomulco para solucionar problemas de actividades turísticas.

4.2.1 Engorda de carpa en estanques

Un proyecto de desarrollo acuícola sustentable de calidad que se propone, con acceso al mercado local y estatal: es la engorda intensiva de carpa en estanques rústicos.

La carpa es un pez originario de Asia. La descripción más común es la siguiente: presenta dos pares de barbillas táctiles, carnosas y cortas, que se sitúan simétricamente a cada lado de la boca. El dorso suele ser pardo oscuro con irisaciones azuladas, los flancos son amarillentos con reflejos dorados y el vientre blanquecino. La aleta dorsal con tres o cuatro radios, está mucho más desarrollada que la anal pues posee forma trapezoidal; la aleta caudal está claramente escotada, el lóbulo superior de la aleta y la aleta dorsal son de color azulado. La forma del cuerpo es alta, con respecto a la longitud del mismo. La boca se sitúa de forma terminal y está provista de gruesos labios que pueden ser proyectados hacia delante. De régimen omnívoro, cabe en su dieta desde larvas de insectos hasta plantas acuíferas. Nos encontramos con carpas totalmente cubiertas de escamas (barrigonas), la espejo (fig. 4.1), con grandes escamas repartidas aleatoriamente por el cuerpo (Fernández, 1998. pp. 117-123).



Fig. 4. 1 Espécimen de carpa espejo. Fuente SAGARPA

Debido a las características de estos peces como son: resistencia al manejo, consume una gran variedad de alimentos naturales y balanceados, tiene una alta tasa de conversión alimenticia, rápido crecimiento y gran adaptabilidad a los diferentes sistemas de intensidad de producción. Su cultivo se ha expandido en diversas regiones del país, además de su alto valor nutritivo y comercial. En México se dominan las técnicas para su cultivo, permitiendo desarrollar en forma óptima el proceso productivo.

No existen fuentes de empleo que permitan a los pobladores obtener un ingreso económico para el sustento de sus familias, además de estar ubicados en una zona de extrema pobreza. Por estas razones una actividad alternativa, como es la acuicultura ofrece una entrada económica al productor, al tratarse de cultivos con alto valor comercial y que no requiere de gran disponibilidad de terreno para su producción.

Se proyecta realizar la producción de carne de carpa en sistema intensivo que incluye estanques rústicos a través de zanjas, aireación y suministro de alimento balanceado, adquiriendo organismos de 8 a 12 cm., para su engorda en un período de 4 meses. La demanda local proyecta consumirlo entero, vivo y por kilogramo; de igual forma preparado con recetas regionales, en una palapa que se puede construir de manera rústica o normal; dependiendo de la impresión que se quiera dar al turista que acceda a visitar la zona.

Las ventajas que se obtienen al realizar la actividad acuícola de esta manera son:

- Especie ampliamente difundida en el país.
- Relevante para la producción de carne en corto tiempo y a bajo costo.
- Especie omnívora, bentofágica con alto índice de fecundidad y de crecimiento.
- Capacidad de producción en climas cálidos a templados.
- Temperatura óptima para crecimiento en el agua de 22 °C a 28 °C.

Estas ventajas nos permiten identificar que el proyecto a realizar es viable, para las comunidades aledañas a la laguna considerando que la temperatura en la cuenca es óptima para el crecimiento de la especie a producir. Para este proyecto se contempla la engorda de carpa en un lapso de 4 a 5 meses por medio de un sistema intensivo basado en estanques rústicos, en donde se cuente con aireación y recambio de agua. El cultivo se iniciara con la adecuación de la estanquería y el equipo de apoyo, así como las crías y juveniles.

El suministro de agua deberá estar asegurado para el llenado y recambio de estanques de pre-engorda y engorda, compensando las pérdidas por evaporación, así como su uso imprevisto en caso de emergencia. Por la calidad del agua disponible se puede deducir que es apta para la engorda de carpa.

Los aspectos a considerar durante la fase de pre-engorda y engorda serán los siguientes:

- 1.- Adquisición, instalación y preparación de toda la estanquería, incluyendo líneas de conducción y drenajes de cada uno de los estanques rústicos.
- 2.- Obtención de 40, 000 crías de carpa juveniles, para sembrarlas en un estanque rustico, el cual deberá contener la fertilización adecuada para minimizar costos de alimentación.

- 3.- Determinar la cantidad de alimento balanceado a suministrar, dividida en las raciones convenientes (de 3 a 4% del peso).
- 4.- Control de la calidad del agua. (Temperatura, Oxígeno, pH, amonio, flujo de agua y recambio de agua).
- 5.- Carga de densidad, la cual estará en función de:
 - a).-Adquirir organismos de talla reproductor, cría y juvenil.
 - b).-Sembrar de 25 a 30 Kg/m³.
- 6.- Estimación de la biomasa del cultivo.
- 7.- Revisión diaria del comportamiento de los peces.
- 8.- Muestreos de sobrevivencia.
- 9.- Control de depredadores naturales.

Las medidas sanitarias y de salud se deberán observar en todas las fases de cultivo, serán factores de suma importancia para evitar el riesgo de mortalidad causada por enfermedades.

Las enfermedades de la carpa se transmiten por contagio directo o por vías indirectas. En el primer caso, la alta densidad de cultivo favorece la transmisión, particularmente cuando se trata de enfermedades infecciosas, este es el caso más frecuente y el que presenta mayores riesgos para las inversiones acuícolas. Es por ello que la prevención es la mejor arma para controlar las enfermedades y el debilitamiento de los animales; la limpieza permanente es una medida importante. Un cuidadoso seguimiento de cada una de las etapas de cultivo nos ayudaran a obtener mejores resultados y una mayor producción de carne en nuestro proceso productivo.

Por su apariencia, olor y sabor suave, así como su alto valor nutritivo, baja en calorías y ausencia de colesterol, la carpa ha obtenido un lugar en el mercado, por lo que será de fácil comercialización al público en general.

El producto estará disponible para los lugareños, vecinos y turistas; ya sea vivo, muerto o preparado en la palapa que se propone realizar, generando así un valor agregado al producto por venderlo cocinado y a satisfacción del cliente.

La carpa es una especie de agua dulce de gran consumo en México debido principalmente a:

- a).- Su apariencia, la forma y el color son agradables a la vista.
- b).- Poca cantidad de espinas.
- c).- Tamaño de un pez entero ajustable a una porción alimenticia.
- d).- Sabor ligero y agradable.
- e).- Su precio es accesible.

Una de las ventajas de la carpa es ser consumida de diferentes maneras, desde las recetas simples hasta las más elaboradas; tales como frita, mojo de ajo, envuelto en papel aluminio, caldo y penca de maguey. Esto dependerá de la persona que realice la cocción y del gusto de la persona que lo consuma.

En México existe un patrón de consumo de pescado muy definido con el pico más alto, que existe en cuaresma de febrero a abril, siendo el mayor consumo en semana santa, esto debido a costumbres religiosas de no comer carnes rojas (res, puerco) en los días de cuaresma. La costumbre generalizada de en cuanto sea posible pasar las vacaciones en lugares relacionados con el agua, donde se consume varias veces pescado en esa semana. La otra temporada alta de consumo es diciembre, principalmente por visita de familiares y un mayor poder adquisitivo este mes. Si bien los dos picos más fuertes en las ventas son esos, esta especie tiene consumo todo el año. Desde un punto de vista económico, la inversión requerida para la construcción de una unidad de producción intensiva de carpa. Es rentable de acuerdo al precio que tiene este producto en el mercado y las posibilidades de ampliación de cobertura que se presentan para la especie. Se observa a nivel estatal y nacional que la carpa es un producto que tiene una demanda potencial bastante amplia, las

características más demandadas por el mercado son: la calidad de la carne, siendo muy apreciada por su color y textura, asimismo la calidad nutricional de esta especie es importante.

El proyecto requiere de la obtención de infraestructura y el siguiente material, equipo e insumos del cual se estima obtener el éxito deseado. Vea cuadro 4.2.

| CONCEPTO | UNIDAD DE MEDIDA | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO \$ | IMPORTE \$ | TOTAL \$ |
|---|------------------|----------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Estanques rústicos | Estanque | 02 | 17, 000 | 34, 000 | 34, 000 |
| Equipos de aireación | Lote | 01 | 18, 000 | 18, 000 | 18, 000 |
| Equipo para monitoreo de calidad del agua | Equipo | 01 | 30, 000 | 30, 000 | 30, 000 |
| Construcción de obra de toma de agua | Modulo | 03 | 1, 800 | 5, 400 | 5, 400 |
| Equipo de suministro de energía eléctrica de emergencia | Lote | 01 | 7, 500 | 7, 500 | 7, 500 |
| Compra de alimento balanceado | Tonelada | 14.4 | 7, 000 | 100, 800 | 100, 800 |
| Equipo para traslado de organismos | Lote | 01 | 5, 000 | 5, 000 | 5, 000 |
| Bodega | Modulo | | 18, 000 | 18, 000 | 18, 000 |
| Líneas de conducción y drenaje de agua | Lote | 03 | 1, 500 | 4, 500 | 4, 500 |
| Construcción y equipamiento de una palapa | Modulo | 01 | 90, 000 | 90, 000 | 90, 000 |
| | | | | TOTAL \$ | 313, 200 |

Cuadro 4. 2 Necesidades de infraestructura y equipo para la producción de carpa

Debido a la naturaleza del tipo de proyecto que se desarrollará, implica la participación de todos y cada uno de los socios o miembros de la comunidad que integre el grupo de trabajo, ya que deberán realizar las actividades de todo el proceso de producción y comercialización.

Serán considerados varios precios, ya que serán varias las presentaciones de los productos a obtener; sin embargo, se tendrá un seguimiento de precios de acuerdo a la oferta y demanda de otras entidades. Se nos va a permitir no depender de un solo precio, ya que vamos a manejar diferentes presentaciones. Por lo general el precio al mayoreo aumenta en un 10 a 20% antes de cuaresma y se mantiene al mismo nivel hasta semana santa. El precio al que se está vendiendo actualmente es de \$40.00 a 50.00/Kg. de entero fresco eviscerado y a \$ 55.00 pieza de 300 a 350 gr. preparada en la palapa.

De acuerdo a lo especificado en este proyecto esperamos una producción estimada anual alrededor de las 11.4 toneladas de carne, considerando el 5% de pérdidas de animales por mortandad. Si se vendiera todo a un mayorista a \$35.00 la obtención de ingresos sería de \$ 399, 000. 00 en un año que sería la recuperación de la inversión inicial. Por el contrario si la venta de toda la carne se hiciera al público en general y en la palapa por partes iguales tendríamos un ingreso aproximado de \$ 627, 000. 00, lo que resulta mejor para la comunidad obteniendo mejores ganancias.

4.2.2. Engorda de rana toro

Para este proyecto se considera únicamente la adquisición de la rana en pequeño, proveniente de centros productores de rana y realizar la engorda en un invernadero que permita asegurar las condiciones óptimas para el crecimiento del producto y realizar la comercialización cuando llegue a un peso de 260 gramos.

Las características generales de la especie a reproducir, de acuerdo al manual para el cultivo de rana toro (*Rana catesbeiana*) publicado por la SAGARPA del Estado de Nayarit son:

4.2.2.1 Identidad taxonómica de la rana toro

- **Clase:** Anfibia.
- **Orden:** Anura.
- **Familia:** Ranidae.
- **Género:** Rana.
- **Especie:** *Rana catesbeiana*.
- **Nombre común:** Rana toro.



Fig. 4. 2 Especimen de rana toro (*Rana catesbeiana*). Fuente Manual para cultivo de Rana Toro

4.2.2.2 Objetivos del proyecto

Los objetivos a perseguir con la implementación de este proyecto son:

- Incorporar 6,000 especímenes de imago o rana toro juvenil, a un sistema de alimentación intensiva bajo condiciones controlables mediante un invernadero.
- Mejorar la calidad de la carne que se consume en la zona restaurantera del Corredor Turístico de la laguna de Tecocomulco.

- Mejorar la calidad y sabor de la carne que consume el turista que visita la laguna de Tecocomulco y disfruta de degustar un platillo considerado de la región.
- Participar en la producción de carne de rana toro que genere recursos económicos para los productores asociados.
- Generar empleos en la región.

En México la demanda anual de rana toro está considerada en 800 toneladas y la oferta es de 300 toneladas, por lo tanto la demanda insatisfecha es de 500 toneladas, como se observa en el cuadro 4. 3.

| AÑO | PRODUCTO CONSUMIDO (Ton) | PRODUCTO PRODUCIDO (Ton) | PRECIO (\$/Kg) | POBLACIÓN (Mill hab) |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2004 | 142 | 50 | \$90.00 | 102.56 |
| 2005 | 540 | 150 | \$90.00 | 103.90 |
| 2006 | 800 | 300 | \$95.00 | 105.18 |

Cuadro 4. 3 Demanda potencial de la Rana Toro en México. Fuente: INEGI, 2007

Del lago de Cuitzeo en Michoacán se obtienen 400 Kg/semana, que se envían al Distrito Federal sin condiciones de higiene y carentes de presentación. Con este proyecto se pretende aumentar la productividad del producto en cuanto a calidad y cantidad; así como realizar mejoras en la presentación del producto final, con un embalaje que identifique la procedencia de la carne que se comercialice, dando un mayor realce al producto.

En este proyecto se contempla comercializar el producto directamente en el lugar de producción y en la zona restaurantera, debido a que en dicho sitio se lleva a cabo la promoción turística de la laguna de Tecocomulco, sin embargo

con el fin de tener más claro el tema sobre mercadeo del producto, se analizaron los canales de comercialización más comunes, lo cual se presenta en el esquema de la figura 4.3.

Aquí como en el proyecto anterior también se puede realizar la construcción de una palapa, para realizar la comercialización y venta al público de rana toro en las diferentes presentaciones que están acostumbrados a consumir, tomando en cuenta que con ello se obtienen mejores ganancias para los productores participantes del proyecto.

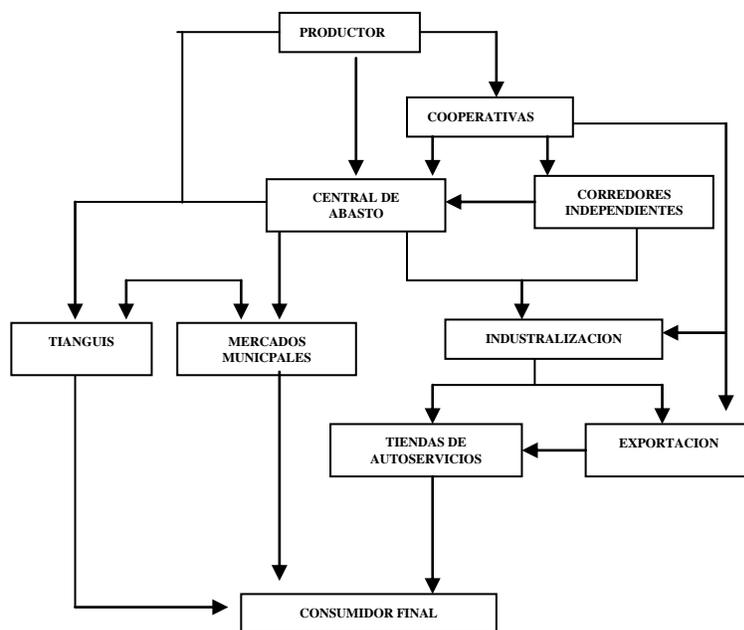


Fig. 4. 3 Principales canales de comercialización para la Rana Toro (*Rana catesbeiana*)

La demanda de la rana principalmente de la anca en la región de la laguna de Tecocomulco es significativamente alta; este déficit, ha sido cubierto en gran medida por importaciones de otros estados. Los productos resultado del presente proyecto serán destinados básicamente a la zona restaurantera de la laguna de Tecocomulco y también considerando los mercados regionales, no descartando otros mercados como las ciudades vecinas.

Los precios en el mercado de la carne de rana toro son:

Anca de Rana \$115.00/Kg.

Platillo de Rana \$60.00.

Piel de rana: \$6 M.N.

La piel es utilizada para confeccionar bolsas, carteras, zapatos.

El presente proyecto será bajo un sistema intensivo, en el cual se requiere de flete para el transporte de los imagos, para el invernadero se requiere de: equipo de riego, medidor de pH, higrómetro y termómetro. En cuanto a equipo de calefacción se requiere de calefactor de gas y de un tanque de gas estacionario de 200 lts. con tubería.

Los insumos que se necesitaran son: tenebrio y alimento para trucha; medicamentos como: azul de metileno, permanganato de potasio y sulfas (liquido).

La mano de obra que se utilice será proporcionada por los mismos productores. De igual forma se requiere de capacitación sobre el manejo de la especie a producir. La obra civil a construir consiste en lo siguiente:

- Nave invernadero de 10.5 m. x 18.5 m.
- 6 estanques de 4.5 m. x 5.5 m. dentro del invernadero.
- Se siembran 6,000 organismos (3-5 gr.) por cada nave de producción.
- La densidad es de 50 organismos/m².

La división del trabajo será de acuerdo a la capacidad y aptitud de los productores; el salario se estimara según sea la función que ejerza cada productor. Así como la designación y organización que se presente en el grupo de trabajo. Cabe hacer mención que todos los proyectos requieren de la

participación de los integrantes de las comunidades o del grupo que se conforme para la realización del mismo.

El riesgo: es la posibilidad de presentarse un resultado desfavorable durante el proyecto. A continuación en el cuadro 4.4 se presenta un análisis de los posibles factores de riesgo y las alternativas propuestas para disminuirlos.

| ANÁLISIS DE RIESGO | |
|---------------------------|--|
| FACTOR | ALTERNATIVA |
| Enfermedades | Contar con un botiquín veterinario y contratar servicios médicos veterinarios. |
| Falta de asesoría técnica | Contratar asesoría técnica capacitada. |
| Escasez de alimentos | Producir un alimento alternativo como: Lombriz Californiana. |
| Baja en precios de venta | Dar valor agregado al producto para compensar los precios. |
| Desintegración del grupo | Fomentar el trabajo en grupo. |

Cuadro 4. 4 Factores de riesgo en la producción de rana toro

Los requerimientos básicos de la rana toro, no son muy grandes tomando en consideración que se pueden adaptar a diversas circunstancias. Muchos estudios han demostrado que tienen la capacidad de adaptarse a la mayoría de las regiones en nuestro país, dichas condiciones se resumen en el cuadro 4.5. (SAGARPA, 2005. p. 18).

| Parámetro | Unidad | Mínimo | Máximo | Ideal Siembra |
|-------------|--------------------|--------|--------|---------------|
| Temperatura | °C | 21 | 27 | 26 |
| Ph | - | 6.0 | 8.0 | 7.0 |
| Humedad | % | 60 | 90 | 75 |
| Densidad | No./m ² | 20 | 70 | 50 |

Cuadro 4. 5 Condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo de Rana Toro

El sistema de cultivo propuesto consiste en:

- Para *Rana catesbeiana*, el sistema será semiseco, se trata de una nave invernadero tipo túnel, con medidas de 10.5 x 18.5 m.
- En el interior se cuenta con 6 estanques que miden 4.5 x 5.5 m. de liner.
- La pureza del agua deberá mantenerse siempre controlada, ya que en la fase de imago se necesita para su buen desarrollo, de agua limpia y bien oxigenada.
- Es importante hacer un análisis físico-químico del agua, para estar seguros que esté libre de sales y que cuente con un pH de 6 a 8.
- Para la actividad de cultivo se cuenta con infraestructura diferenciada, con funciones específicas, cubriendo todas las etapas del ciclo de vida con áreas separadas para metamorfosis y engorda.

Para la planeación de los procesos productivos se toma como base el Método de Gantt, y solo se muestra un ciclo de los dos ciclos productivos que se realizarán durante el año y está mostrado en el cuadro 4.6.

| Mes/ Actividades | NOV. | | | | DIC. | | | | ENERO | | | | FEBRERO | | | | MARZO | | | | ABRIL | | | | MAYO | | | | JUNIO | | | |
|-------------------------------------|------|---|---|---|------|---|---|---|-------|----|----|----|---------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|------|----|----|----|-------|----|----|----|
| SEMANAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| Acondicionamiento del área | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Preparación de los estanques | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Establecimiento de los Invernaderos | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cercado Perimetral | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Siembra en estanques de Imago | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alimentación | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Muestreo de longitud y peso | | | | | | | | | | ■ | | | | ■ | | | | ■ | | | | ■ | | | | ■ | | | | | | |
| Muestreo de agua | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Engorda | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Limpieza de estanques | | | | | | | | | ■ | | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | | | |
| Cosecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Fenamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Mantenimiento de las instalaciones | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Cuadro 4. 6 Gráfica de Gantt para expresar el ciclo productivo de rana toro

4.2.2.3 Actividades para engorda de rana toro

Las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto para la engorda de rana toro se describen a continuación:

A) Acondicionamiento del área

Estas medidas comprenden todas las condiciones adecuadas para el buen funcionamiento del invernadero considerando: desmonte del área, la orientación, la ubicación de los caminos, oficinas, bodegas y las construcciones para servicios a empleados; así como la colocación de la infraestructura eléctrica, hidráulica, sanitaria, etc.

B) Preparación de los estanques

Los estanques no utilizan alta tecnología, considerando la calidad del agua existente en la cuenca, se deberán controlar únicamente parámetros de clima y temperatura.

La construcción de estanques intensivos se realiza con materiales impermeables como el polietileno, lona plástica o cemento para evitar filtraciones o contaminación del suelo, esto dependerá de los recursos económicos con los que cuente la sociedad de trabajo.

C) Establecimiento de los invernaderos

Se realiza la construcción, y colocación adecuada de los invernaderos, estos dispositivos tienen como finalidad controlar el flujo, la densidad de población, la alimentación y los lotes de producción de la rana toro con las características ambientales necesarias para su crecimiento.

D) Alimentación

El alimento de la rana toro se basará principalmente en tenebrio y alimento para trucha, la alimentación deberá realizarse a una dieta con 40% de proteínas con relación de alimentación a peso de alrededor de 1:1.3.

E) Engorda

Los imagos ingresan a las áreas de crecimiento y engorde, durante los primeros 15 días, se debe proporcionarles alimentación adecuada consistente en alimento balanceado, para de esta forma lograr su adaptación en cautiverio, el metabolismo de las ranas se altera de acuerdo a la temperatura; generalmente la mayor actividad es durante el verano, donde se acelera el crecimiento del cuerpo.

F) Crecimiento y engorde (crianza)

Esta etapa dura aproximadamente tres meses, hasta que la rana llega a un tamaño adecuado para la comercialización y consiga 200 a 250 gramos de peso, dependiendo del tamaño de las ranas se acostumbra llegar a una población de 75 ranas por metro cuadrado.

G) Muestreo de longitud y peso

Partiendo de que conocemos la cantidad de ranas toro sembradas y los tamaños en cada estanque, semanalmente se extraen muestras “al azar”. Se llevan registros individualmente de esos muestreos extraídos por estanques; en formularios específicos para llevar el récord de longitud (mm) y peso (gramos), para hacer los cambios en tasas de alimentación y para planificar las cosechas, esta acción se realiza cada dos semanas.

H) Control de agua

El agua de cada estanque debe ser revisada y controlada diariamente, tratando de mantener los niveles de oxígeno de 5-10 ppm; el pH con valor de 7 a 8; la temperatura entre 25 a 26 °C y la salinidad entre 15 y 25 ppm. Para mantener esta calidad de agua normalmente se logra recambiando de un 10 a 20 % del agua almacenada para cada estanque que presente problemas.

Con respecto al color y visibilidad del agua de los estanques, ésta debe ser de color “verde caña” con una visibilidad entre 20 y 40 cm., para ello debe conjugarse la aplicación de fertilizantes y los recambios de agua.

I) Cuidados sanitarios

Los principales problemas que se tiene son: mancha blanca entre los ojos, esto debido al canibalismo que existe entre ranas. La solución propuesta es la clasificación de los animales; ranas letárgicas y delgadas por mala alimentación, que requieren mejorar su alimentación y finalmente ranas con

lesiones en la piel por mordedura de roedores, se controla con mayor seguridad para evitar el ingreso de seres extraños al invernadero.

J) Enfermedades más frecuentes

Las enfermedades más comunes se presentan en:

1.- Piel

Hemorragias, inflamaciones por infecciones, avitaminosis, secreción de otros anfibios. Mancha cinzenta, hongos, pústulas, tumores, úlceras, infecciones, alteraciones en la mudanza de la piel.

2.-Órganos digestivos

Inflamación intestinal, infección por protozoarios, obstrucción intestinal, alimentación inadecuada.

Abscesos en el hígado debido a tuberculosis, hígado grasoso, congestión hepática por tumores abdominales, degeneración hepática, peritonitis, ascites, hidropesía, anomalías congénitas, tumores viscerales, helmintosis, obstrucción intestinal, tuberculosis.

Apatía, rechazo a la alimentación, problemas de iluminación ambiental, problemas de alimentación, temperatura inadecuada.

3.- Pulmones

Dificultad respiratoria consecuencia de tuberculosis, nematoides, trematoides, carcioma, nematomorfae.

De manera que la mejor forma de evitar las enfermedades es:

- Alimentación correcta de las ranas.
- Mantenerlas en buenas condiciones ambientales.

- Manipular las ranas con cuidado.
- Tener cuidado de no introducir patógenos al ranario.

Además adoptar las precauciones siguientes al adquirir los reproductores revisar y verificar la procedencia de los mismos y mantenerlos en cuarentena en un área especial, donde serán constantemente observados por el veterinario para prevenir enfermedades.

K) Faenamiento

Las ranas que se destinan a los mercados deben sacrificarse antes de su procesado, ya que la parte útil para el consumo humano son las ancas. En nuestro país se aprovechan las pieles para la elaboración de zapatos y marroquinería, el resto de su cuerpo se le utiliza disecado para la elaboración de concentrados propios para la alimentación de otras especies. En otros casos se utiliza su carne y vísceras para preparar, mezclada con diversos alimentos las gusaneras de sus ranarios. Otros compradores las prefieren congeladas a granel o dentro de bolsas individuales de plástico.

Para proceder a sacrificar las ranas se siguen los siguientes pasos.

1. Recepción.
2. Confinamiento sin alimentación durante 24 horas.
3. Se colocan en una bolsa de plástico con hielo por 10 minutos.
4. Decapitación: escurrimiento de la sangre.
5. Lavar: agua clorada, 5 partes por millón.
6. Retiro de la piel.
7. Evisceración.
8. Lavado con agua limpia.
9. Retiro de las ancas si fuera el caso.
10. Clasificación.
11. Empaque.
12. Envíos.

El cuadro 4.7 especifica la cantidad del material necesario, para llevar a cabo la construcción del invernadero para la producción intensiva de rana toro, así como también el costo de la infraestructura requerida, para tener la idea del costo total del proyecto será necesario la realización de una corrida financiera, para evaluar la factibilidad que representa este proyecto.

INVERNADERO AGRICOLA PREFABRICADO CON VENTILACION CENTAL
Construcción de la nave de Invernadero de 200 m²

| Concepto | Unidad de Medida | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
|---|------------------|----------|-----------------|------------------|
| Estructura del Invernadero | | | | |
| PTR de 2" para postes | Piezas | 10 | 494,50 | 4.945,00 |
| PTR de 2" para arcos | Piezas | 16 | 550,00 | 8.800,00 |
| PTR de 1 1/2" para tensores | Piezas | 12 | 222,09 | 2.665,08 |
| PTR de 1 1/2" para ajustador | Piezas | 10 | 94,20 | 942,00 |
| PTR de 1 1/2" para ancla | Piezas | 10 | 94,60 | 946,00 |
| PTR de 1 1/2" para ventilación | Piezas | 10 | 152,83 | 1.528,30 |
| PTR de 1 3/4" para ancla | Piezas | 15 | 135,50 | 2.032,50 |
| PTR de 1 1/4" para área perimetral | Piezas | 25 | 195,09 | 4.877,25 |
| Perfil | Piezas | 35 | 94,00 | 3.290,00 |
| Alambre zigzag | kilogramos | 15 | 60,00 | 900,00 |
| Tubo cerca galv. 38 mm. | Piezas | 10 | 250,00 | 2.500,00 |
| Canalón central | Piezas | 5 | 644,00 | 3.220,00 |
| Malacates | Piezas | 5 | 500,00 | 2.500,00 |
| Tubería lisa sibergreen | Metros | 120 | 2,88 | 345,60 |
| US de ensamble, tornillería y pijas | lote | 1 | 5.000,00 | 5.000,00 |
| Nudos | Piezas | 200 | 8,00 | 1.600,00 |
| Cable de acero de l para cortinas | kilogramos | 10 | 92,66 | 926,60 |
| Plástico blanco lechoso de 8.20 | rollos | 0,2 | 12.000,00 | 2.400,00 |
| Malla antiafida | M2 | 120 | 35,53 | 4.263,60 |
| Fleje de poliéster de 1/2" rollo de 500 m | Rollo | 0,5 | 420,00 | 210,00 |
| Sub-total | | | | 53.891,93 |
| Equipo para la operación del invernadero | | | | |
| Equipo de Riego | | | | |
| Medidor de PH | Piezas | 1 | 3.450,00 | 3.450,00 |
| Higrómetro | lote | 2 | 850,00 | 1.700,00 |
| Termómetro | lote | 4 | 680,00 | 2.720,00 |
| Sub-total | | | | 7.870,00 |
| Equipo de calefacción | | | | |
| Calefactor de gas marca Alerta | Piezas | 1 | 5.500,00 | 5.500,00 |
| Tanque de gas estac. de 200 lts c/tubería | lote | 1 | 3.700,00 | 3.700,00 |
| Sub-total | | | | 9.200,00 |
| Producción | | | | |
| Lenner | m2 | 350 | 25,00 | 8.750,00 |
| Bascula | Piezas | 2 | 1.600,00 | 3.200,00 |
| Sub-total | | | | 11.950,00 |
| TOTAL | | | | 82.911,93 |

Cuadro 4. 7 Requerimientos para la construcción del invernadero

Capítulo cinco

Planteamiento de solución a los problemas de contaminación por aguas residuales

5.1 Introducción

El deterioro de la calidad del agua por el vertido de desechos urbanos e industriales a los cuerpos de agua naturales, ha favorecido la ruptura del equilibrio ambiental y en la mayoría de los casos con riesgos para la salud pública. Las aguas superficiales constituyen uno de los recursos que más se ha alterado por el vertido de aguas residuales. El 62% de las aguas superficiales del país tiene un nivel de contaminación grave, mientras que un 25% tiene un nivel de contaminación alto. Sólo el 15% de las aguas superficiales tiene calidad adecuada para la aplicación a la que se destina. Con el objetivo de aminorar este problema se han propuesto alternativas para el mejoramiento de la calidad de las aguas superficiales, como el tratamiento físico-químico de las aguas residuales previo a su vertido en los lagos, ríos y arroyos. Sin embargo, este tipo de tratamiento crea en menor escala nuevos problemas, como la generación de residuos tóxicos durante el proceso de tratamiento que en un principio no son significativos, a la larga puede representar riesgos para el ambiente.

Como una alternativa de bajo costo y sin riesgos de contaminación al ambiente, se ha desarrollado desde hace algunos años en Europa una tecnología que imita las condiciones naturales de los humedales, para conseguir mejores resultados de tratamiento del agua. Los humedales son: áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm. con plantas emergentes que proporcionan superficies para la formación de películas

bacterianas, facilitan la filtración y la absorción de los constituyentes del agua residual, permiten la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controlan el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

A la laguna de Tecocomulco llegan descargas de aguas residuales provenientes de la parte alta de la cuenca, a través de las corrientes pluviales o directamente de la red de drenaje. El exceso de nutrientes en la laguna se refleja en una expansión acelerada de especies vegetales acuáticas como el tule, y si el problema no se resuelve, la contaminación puede afectar seriamente la salud de las personas que conviven en este medio. Como una alternativa para disminuir este problema, se propone el establecimiento de un humedal artificial que beneficiara directamente a la población de la cuenca que realice esta implementación. Así también la construcción de letrinas secas en los poblados con pendientes accidentadas y además se cuenten con ellas en casas retiradas, donde resulta muy costosa la implementación de un sistema de drenaje.

Estas propuestas como en los casos anteriores de los proyectos presentados en este trabajo de investigación, tienen la ventaja de ser adquiridos por diferentes comunidades de la cuenca de la laguna. Todo dependerá de la organización existente y de los compromisos que existan en beneficio de un mejoramiento a nuestro medio ambiente, así como también de las modificaciones necesarias de acuerdo a la cantidad de habitantes existentes por población.

5.2 Elaboración del estudio para la implementación de un humedal artificial

Un humedal artificial: es un sistema específicamente diseñado y construido por el hombre para tratar las aguas residuales, aumentando la capacidad depuradora o eficiencia de tratamiento mediante la optimización de los procesos

físicos, químicos y biológicos que ocurren en los sistemas de humedales naturales (Mena, 2005).

Como parte inicial para el diseño del humedal es tener en cuenta la cantidad de agua residual generada en la comunidad, en la cual se llevara a cabo el humedal. Se considera un consumo promedio de agua de 150 lt./día por persona.

Para tener un margen en el cual podamos trabajar un humedal consideraremos un servicio máximo de 1,200 personas, mismas que generaran un total de 180, 000 lt/día, por lo que este será el gasto de diseño para el humedal y las instalaciones necesarias para su funcionamiento.

El sistema propuesto con capacidad de procesar un volumen diario de 180, 000 litros de aguas residuales, está diseñado para utilizar el mínimo de instalaciones y materiales con el fin de que sea un proyecto de aplicación viable. Las aguas residuales a tratar son de origen doméstico, por lo que el pretratamiento no se considera de mayor importancia en este proyecto, salvo por asegurar un crecimiento adecuado de la vegetación elegida para el tratamiento del humedal.

5.2.1 Diseño, construcción, operación y selección del proyecto de humedal artificial

Existen dos tipos principales de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, los cuales son: de flujo libre superficial (FLS) y de flujo subsuperficial (FSS).

a).- Humedal de flujo libre superficial (FLS)

Son aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. En estos humedales el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación,

desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. En estos sistemas se cuenta con canales o cuencas de poca profundidad con un recubrimiento en el fondo para evitar la percolación, una capa de suelo o sustrato para el crecimiento de las raíces de la vegetación seleccionada y un sistema adecuado de estructuras de entrada y descarga para asegurar la distribución uniforme del agua residual en el humedal y su recolección al final del tratamiento.

Ventajas de los humedales de FLS

- La operación a nivel de tratamientos secundarios es factible casi durante todo el año, a excepción de temporadas de frío extremo.
- Este sistema proporciona un valor adicional a los espacios verdes en las comunidades.
- Los humedales de FLS no producen biosólidos, ni lodos residuales que requieran de tratamientos subsiguientes.

Desventajas de los humedales de FLS

- Requieren de terrenos con mayor superficie para su funcionamiento, especialmente cuando se requiere la eliminación de elementos como nitrógeno y fósforo.
- Los mosquitos y otros insectos vectores de enfermedades suelen ser un problema común.
- El agua pretratada que se encuentra en contacto con la atmósfera presenta malos olores y se corre el riesgo de ser un foco de enfermedades infecciosas.

b).- Humedal de flujo subsuperficial (FSS)

En los humedales de FSS se tiene básicamente una pequeña cuenca o canal de poca profundidad y recubierto por un material impermeable para evitar

percolaciones a la capa freática, se cuenta con un sustrato como medio de filtración del agua, en donde se desarrollaran las plantas establecidas.

El objetivo de este humedal es que el agua residual pase a través del sustrato sin que aflore a la superficie, evitando de esta manera los malos olores, eliminando la presencia de mosquitos y el riesgo de que la población entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada.

Ventajas de los humedales de FSS

- Proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y personal calificado para su operación.
- Puede estar operando todo el año, si el mantenimiento a las plantas establecidas y a los dispositivos de pretratamiento es adecuado.
- Son muy efectivos en la remoción de Demanda Biológica y Química de Oxígeno, sólidos suspendidos totales, metales y compuestos orgánicos refractarios (resistentes a la degradación microbiana), derivados de las aguas residuales domésticas.
- El tamaño requerido de humedal es menor en comparación con el otro sistema de FLS.
- Para flujos de aguas residuales menores a 227, 000 litros por día, los costos resultan más bajos.

Desventajas de los humedales de FSS

- Un clima muy frío de invierno disminuye significativamente la remoción de Demanda Biológica de Oxígeno, amoníaco (NH_3) y nitratos (NO_3).
- La eliminación de coliformes fecales no es siempre la suficiente para cumplir con los límites aceptables de descarga en aguas nacionales.
- El agua que fluye a través del humedal tiene niveles bajos de oxígeno, lo que puede representar problemas de desarrollo para las raíces de plantas

establecidas y algunos procesos como la nitrificación del amoníaco de las aguas residuales puede verse afectado.

- El sistema descrito puede ser denominado como de flujo subsuperficial horizontal, ya que derivados de los anteriores, también están los humedales de flujo subsuperficial vertical que son útiles para flujos pequeños o como experimentos de laboratorio. De acuerdo a los puntos señalados anteriormente, se toma la decisión de instalar un sistema de flujo subsuperficial considerando los criterios siguientes:

- 1). El sistema estará diseñado para un flujo de 180, 000 litros diarios de aguas residuales. Este volumen se considera bajo y adecuado para un sistema de humedales de FSS, según los criterios de la USEPA (United States Enviromental Protection Agency).

- 2). La mayoría de las comunidades de la cuenca cuentan con terrenos que tienen el espacio suficiente para poder instalar un humedal del tipo FSS.

Una vez tomada la decisión de la construcción de un humedal del tipo FSS, se definen las instalaciones básicas para el funcionamiento y operación del sistema, como se indica en el siguiente apartado.

5.2.2 Diseño general del sistema

Para una remoción adecuada de los contaminantes en el agua residual, se deben realizar ciertos cálculos en base a las condiciones del afluente y las metas propuestas para la calidad del efluente obtenido. Lo anterior servirá de base para el dimensionamiento de los humedales y los sistemas de pretratamiento requeridos para lograr los objetivos planteados.

El primer paso es conocer las condiciones del agua residual y la meta de tratamiento del efluente. Las concentraciones de las aguas residuales urbanas

tienen valores medios de DBO, nitrógeno y fósforo total como los que se indican en el cuadro 5.1. La meta de tratamiento será la estipulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con fines de protección de la vida acuática.

| CONSTITUYENTE | CONCENTRACION DEL AFLUENTE (mg/l) | META DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE (mg/l) |
|----------------------|--|--|
| DBO | 260 | 30.00 |
| Nitrógeno total | 280 | 15.00 |
| Fósforo total | 20 | 5.00 |

Cuadro 5. 1 Parámetros característicos del tratamiento del agua

El siguiente paso consiste en conocer los parámetros básicos de diseño, en base a los resultados obtenidos de los estudios preliminares de proyección de la población y de generación de aguas residuales. Se analizó también la factibilidad del sitio propuesto para su construcción, el costo estimado para las instalaciones necesarias, entre otras cosas, obteniéndose de esta forma los parámetros básicos, de diseño del humedal, indicados en el cuadro 5.2.

Conociendo estos valores se procede a determinar el dimensionamiento de los humedales.

| PARÁMETRO | VALOR |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Capacidad de diseño del humedal | 1200 habitantes |
| Superficie total del humedal | 4524 m ² |
| Volumen de agua residual a procesar | 180 000 litros diarios |
| Caudal promedio | 2.1 l/s |
| Impermeabilización | Geomembrana HDPE 1.5 mm |
| Especie vegetal utilizada | Tule (<i>Typha spp</i>) |
| Espesor del sustrato | 0.4 m |
| Tiempo de operación del sistema | 24 horas diarias |

Cuadro 5. 2 Parámetros de diseño para la construcción del humedal

5.2.3 Cálculos

El área superficial requerida para obtener la calidad propuesta del efluente utiliza la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{\text{Ln}(C_a) - \text{Ln}(C_e)}{K_T y n}$$

Donde:

A_s = Área superficial en m^2 .

C_a = Concentración de DBO en el afluente.

C_e = Concentración de DBO en el efluente.

K_T = Constante de temperatura obtenida de la temperatura promedio del agua en el humedal = 0.58.

y = Profundidad del medio.

n = Porosidad del sustrato.

$$A_s = \frac{\text{Ln}(250) - \text{Ln}(30)}{(0.58)(0.4m)(0.37)} = 4469.47m^2$$

Para cuestiones de manejo, el área total obtenida se dividirá en dos celdas, lo que permitirá facilitar las labores de mantenimiento, debido a esto se tendrán dos celdas, cada una de las cuales tendrá una superficie de 2,234.73 m^2 .

Una vez que se ha calculado el área superficial del humedal, se requiere conocer cuáles serán las dimensiones de longitud y anchura de las celdas, utilizando la fórmula:

$$L = \frac{1}{y} \left[\frac{(Q)(A_s)}{(m)(K_s)} \right]^{0.5}$$

Donde:

L = Longitud de la celda del humedal, m.

y = Profundidad del medio, m.

Q = Caudal en m^3 .

A_s = Área superficial, m^2 .

m = Pendiente del fondo del lecho, % expresado en decimales.

K_s = Constante de gradiente hidráulico, 8333.

$$L = \frac{1}{0.4m} \left[\frac{(181.44m^3 \cdot d^{-1})(2,234.73m^2)}{(0.05)(8333)} \right]^{0.5} = 77.98 m \approx 78 m$$

El ancho necesario se obtiene de dividir la superficie entre la longitud obtenida:

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

Donde:

W = Ancho, m.

A_s = Área superficial, m^2 .

L = Longitud calculada de la celda del humedal, m.

$$W = \frac{2234.73m^2}{77.98m} = 28.65m$$

Se redondea a 29 m.

Con los valores obtenidos de longitud y anchura de la celda, se obtiene la relación L : W necesaria para el tratamiento:

$$\text{Relación L : W} = \frac{77.98}{28.65} = 2.7 : 1$$

Para estimar la velocidad del agua en proceso de tratamiento dentro del humedal, se requiere previamente calcular el tiempo de retención hidráulica, que se refiere al tiempo que estará el agua dentro del medio en la celda.

$$TRH = \frac{A_s \cdot y \cdot n}{Q}$$

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica en el humedal, en días.

A_s = Área superficial, m^2 .

y = Profundidad del medio, m.

n = Porosidad del sustrato, % expresado en decimales.

Q = Caudal en m^3 .

$$TRH = \frac{(2234.73m^2)(0.4m)(0.37)}{181.44m^3 \cdot d^{-1}} = 1.82d$$

Con este valor de TRH, se puede calcular la velocidad de flujo promedio.

$$v = \frac{L}{(TRH)(86,400)}$$

Donde:

v = Velocidad de flujo.

L = Largo de la celda del humedal.

TRH = Tiempo de retención hidráulica calculado.

86,400 = Total de segundos en un día.

$$v = \frac{78\text{m}}{(1.82\text{d})(86,400)} = 0.00049 \text{ m s}^{-1}$$

Estos valores serán retomados en el apartado de instalaciones y fases de construcción.

5.2.4 Instalaciones y fases de tratamiento

El proceso de tratamiento propuesto está en función de las características del agua residual. En este caso son solo aguas residuales urbanas, no tienen aportes de aguas residuales industriales, lo cual facilita el tratamiento. El proceso está en función del volumen de afluente manejado por el sistema.

A continuación se mencionan las instalaciones necesarias y sus características en orden del proceso de tratamiento.

1.- Pozo de registro

Su función será interrumpir el flujo del agua del sistema de drenaje actual y encausarlo al canal de pretratamiento para comenzar el proceso. Las dimensiones del pozo de registro serán tales que se garantice un volumen de amortiguamiento de 1 m³. El material para su construcción será tabique-concreto, estará provisto de una salida de cuatro pulgadas de PVC para descargas rápidas hacia el canal de pretratamiento.

2.- Canal de pretratamiento

Su objetivo es remover la materia orgánica y las arenas que la red de drenaje transporta. Para una efectiva retención y sedimentación de sólidos presentes en el afluente, se colocarán dos rejillas de acero inoxidable como se muestra en la fig. 5.1. La primera a 5 metros de distancia de la entrada del afluente para remover y sedimentar sólidos de mayor tamaño; la segunda rejilla se colocará a 2 metros de distancia de la rejilla 1 y su función será retener materiales sólidos de tamaño más pequeño como arenas y gravas (cuadro 5.3).

| PARÁMETRO | VALOR |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Forma de la barra | Rectangular |
| Ancho de la barra | 10mm |
| Espaciamiento entre barras | 30mm (primera) y 10 mm (segunda) |
| Inclinación con la vertical | 50° |
| Material de construcción | Acero inoxidable |

Cuadro 5. 3 Normas de diseño de las rejillas de barras. Fuente CONAGUA 2006

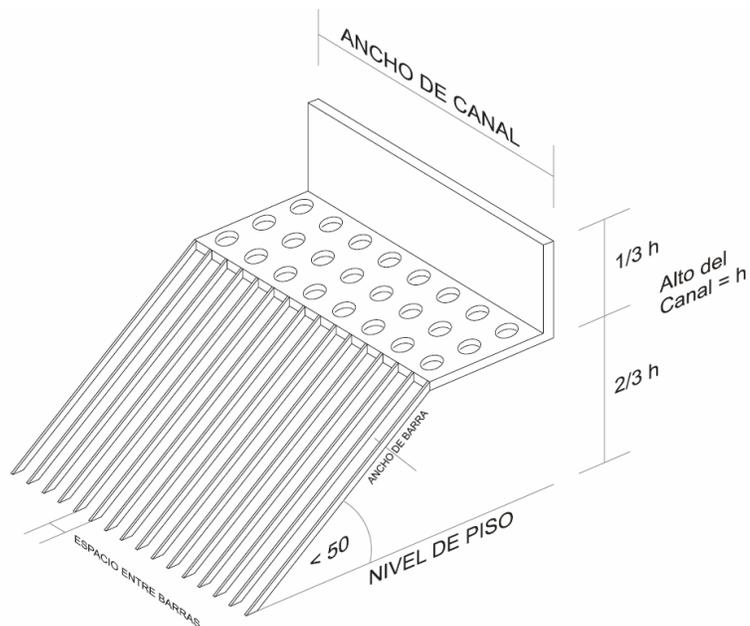


Fig. 5. 1 Detalle de las rejillas utilizadas en el canal de pretratamiento

Estas rejillas no funcionan exclusivamente como filtros, también provocan una sedimentación de los sólidos indeseables en el tratamiento al reducir la velocidad de flujo del afluente, cumpliendo de esta manera con dos funciones importantes: remover sólidos arrastrados y sedimentar arenas y lodos del afluente.

El canal de pretratamiento debe tener una longitud tal que permita la sedimentación de los sólidos a una velocidad óptima, para que no se provoquen bloqueos y remansos por acción de las rejillas. Las dimensiones se presentan en el cuadro 5.4 y los detalles de diseño en la figura 5.2.

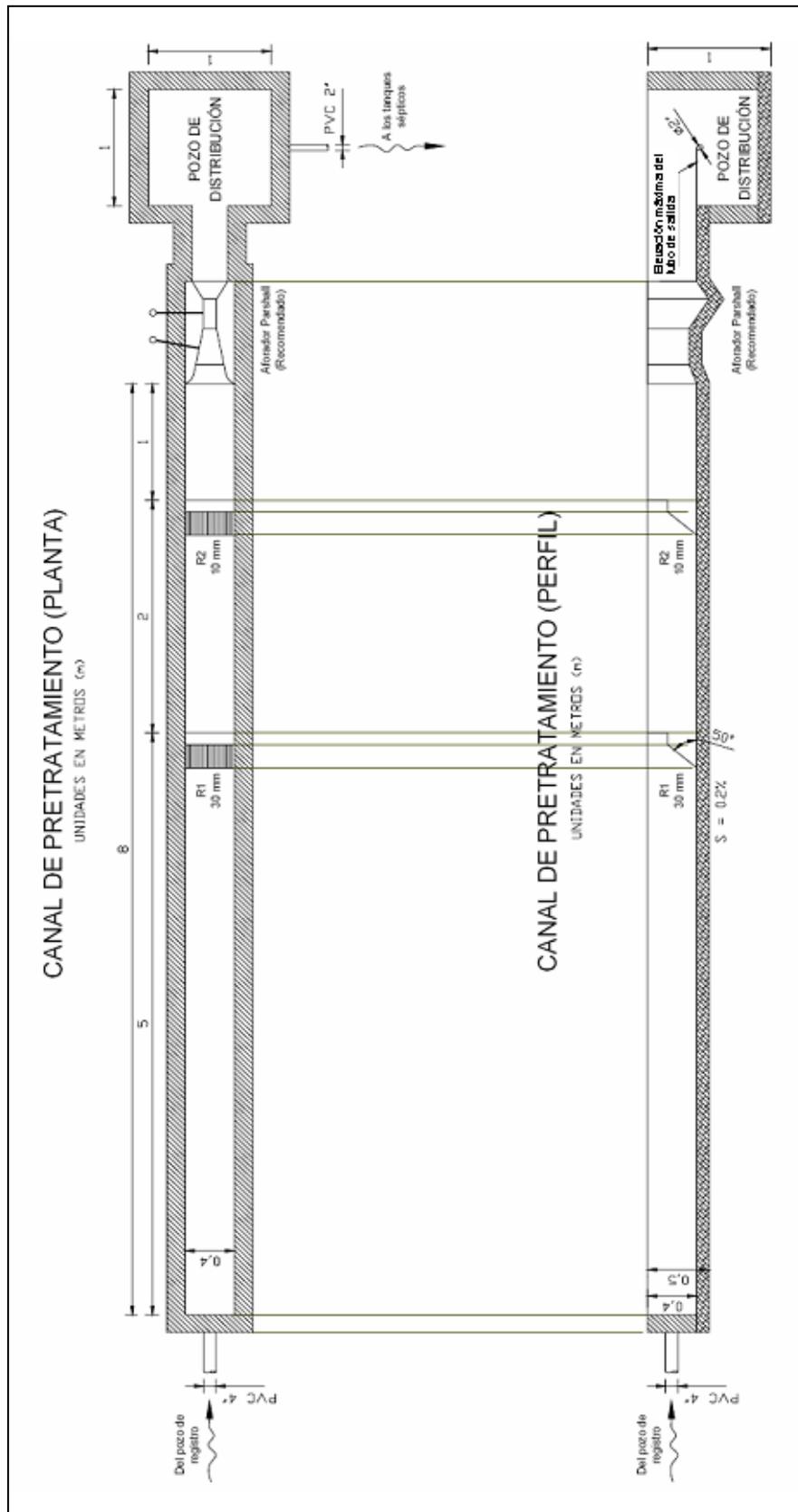


Fig. 5. 2 Canal de Pretratamiento y pozo de distribución. Fuente CONAGUA 2006

| CARACTERÍSTICA | VALOR | UNIDAD |
|-----------------------|-------|--------|
| Longitud de canal | 8.0 | m |
| Anchura efectiva | 0.4 | m |
| Profundidad del canal | 0.5 | m |
| Número de rejillas | 2.0 | - |
| Pendiente del canal | 0.2 | % |

Cuadro 5. 4 Características principales del canal de pretratamiento. Fuente CONAGUA 2006

Con este pretratamiento, el agua podrá ser trasladada a los tanques sépticos para un tratamiento posterior. De manera opcional se propone la instalación de un aforador Parshall, antes de la descarga a los tanques sépticos. Este consiste en un canal con un cuello de 9 pulgadas en el centro y un salto con pendiente de 25%. Una relación entre la altura del agua en la entrada y salida de este cuello, permite determinar con gran precisión el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo. Su función sería monitorear y determinar con precisión los volúmenes de agua que entran al tratamiento. El aforador se coloca al final del canal de pretratamiento para evitar que los sólidos gruesos y arenas interfieran en la medición (figura 5.2).

3.- Pozo de distribución

La función de éste, será la distribución a los tanques sépticos del agua en tratamiento. Por esta razón no se requiere de un volumen demasiado grande, para esto se construirá un pozo de 1 m³. de capacidad. Véase cuadro 5. 5.

| CARACTERÍSTICA | VALOR | UNIDAD |
|----------------|-------|----------------|
| Longitud | 1 | m |
| Anchura | 1 | m |
| Profundidad | 1 | m |
| Capacidad | 1 | m ³ |

Cuadro 5. 5 Características del pozo de distribución

Para la descarga a los tanques sépticos, se utilizará tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro.

4.- Tanques sépticos

El tanque séptico es fundamental en el sistema de tratamiento, ya que este separa la parte sólida de las aguas negras, por un proceso de sedimentación simple y se separan las grasas mediante un proceso de flotación por diferencia de densidades. Si no se realiza el tratamiento en los tanques sépticos, las plantas del humedal presentarían problemas en el crecimiento y desarrollo de sus raíces que son fundamentales para el proceso. Para este sistema se contará con dos tanques sépticos cuya función será dar un tratamiento posterior al agua eliminando los sólidos y las grasas que el canal de pretratamiento no pudo desechar (figura 5.3). Para asegurar el cumplimiento adecuado de las funciones de los tanques, se dará un tiempo de almacenamiento de 20 horas, que equivalen a una capacidad de 72 m³. Véase cuadro 5. 6.

| CARACTERÍSTICA | VALOR | UNIDAD |
|--------------------------|------------------|----------------|
| Longitud | 9.0 | m |
| Anchura efectiva | 4.0 | m |
| Profundidad | 2.0 | m |
| Capacidad individual | 72.0 | m ³ |
| Capacidad total | 144.0 | m ³ |
| Material de construcción | Tabique-Concreto | - |

Cuadro 5. 6 Medidas y características del tanque séptico. Fuente CONAGUA 2006

El motivo por el que se tienen dos tanques sépticos tiene que ver con el manejo y la operación del sistema. Ambos podrán estar funcionando paralelamente, pero si uno de ellos fallara cada tanque es capaz de procesar el agua residual que actualmente se genera en el poblado. Lo anterior implica un decremento en la calidad del agua de salida hacia los humedales, pero en cambio no se paraliza el sistema, lo cual mediante un adecuado programa de mantenimientos alternos a los tanques garantiza un funcionamiento continuo.

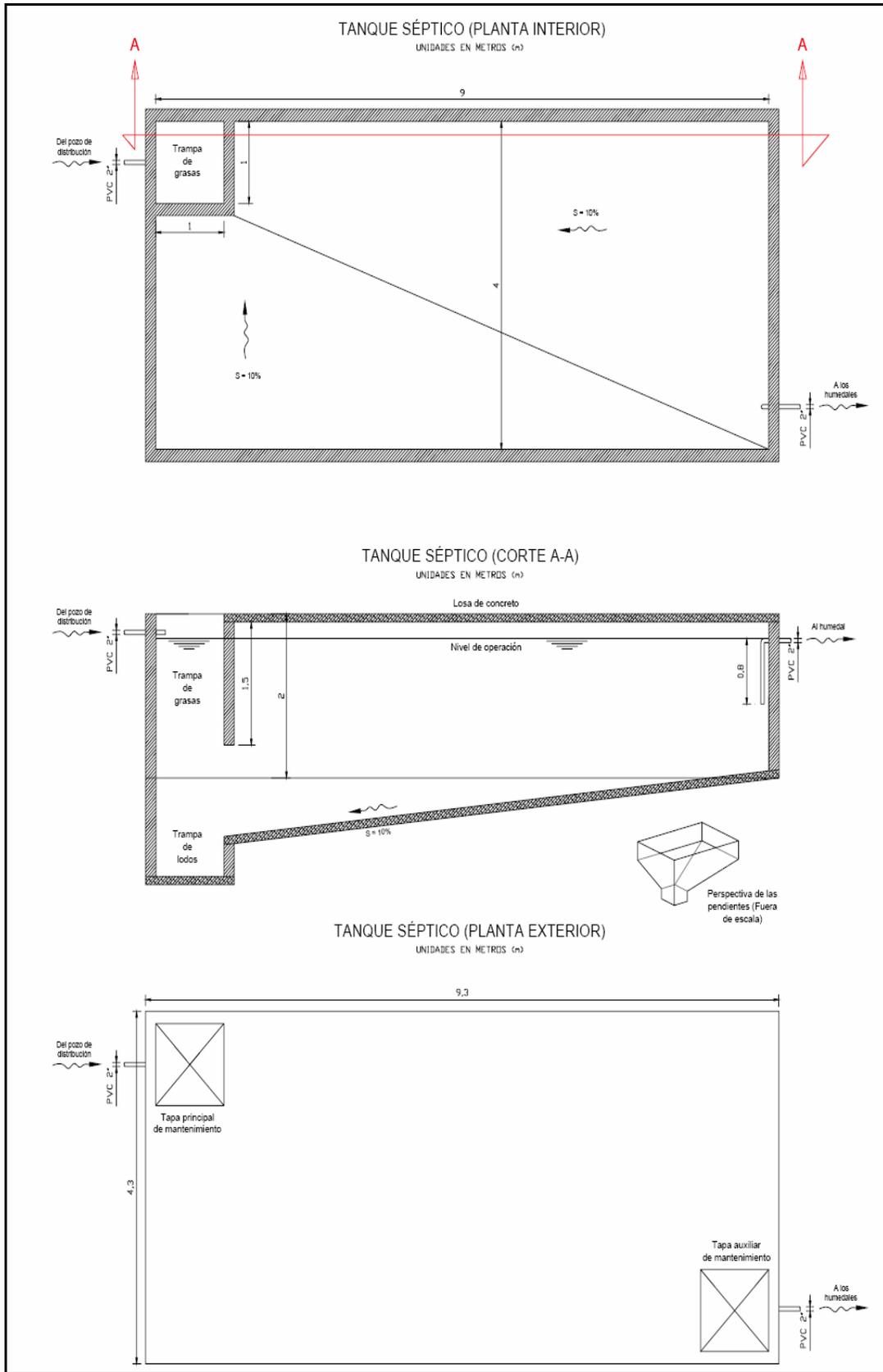


Fig. 5. 3 Diseño de los tanques sépticos. Fuente CONAGUA 2006

En los tanques sépticos quedará inscrita la trampa de grasas y sólidos de baja densidad, para ello se construirá un compartimiento de 1 m²., a la entrada del afluente. Este compartimiento estará sujeto a las paredes en la parte superior del tanque descendiendo hasta 1.5 metros de profundidad dejando 0.5 metros, teniendo un espacio entre el compartimiento y el piso de la fosa, las tapas quedaran colocadas justo por encima de este compartimiento para facilitar las labores de mantenimiento. El piso de la fosa deberá tener una pendiente de 10% con la parte más baja justo debajo de la tapa para provocar la sedimentación de los sólidos más pesados y nuevamente facilitar las acciones de mantenimiento. De manera opcional se puede acondicionar una bomba de lodos en este punto, para extraer de manera periódica los sedimentos acumulados.

5.- Celdas (humedales) de tratamiento

Su función será dar el tratamiento final al agua residual, que ya ha recibido tratamiento físico previo en los tanques sépticos y el canal de pretratamiento. En esta fase se espera que el agua tenga cantidades mínimas e insignificantes de lodos, de tal manera que no se afecte el medio de tratamiento, que son las plantas, el sustrato y las bacterias. Sus dimensiones están calculadas considerando los criterios de disponibilidad de espacio en el sitio y la meta de tratamiento propuesta (cuadro 5.7).

El piso de las celdas deberá estar provisto con una pendiente de 0.5 % entre el afluente y el efluente. Así mismo deberá ser recubierto con un material aislante que garantice el flujo horizontal de las aguas y la nula infiltración de aguas contaminantes al subsuelo. Para el desarrollo de las plantas y el flujo adecuado del agua en tratamiento, se requiere un sistema de filtrado y sostén, para lo cual se utilizará un sustrato de tezontle con una granulometría de 15 a 25 mm. Véase fig. 5. 4.

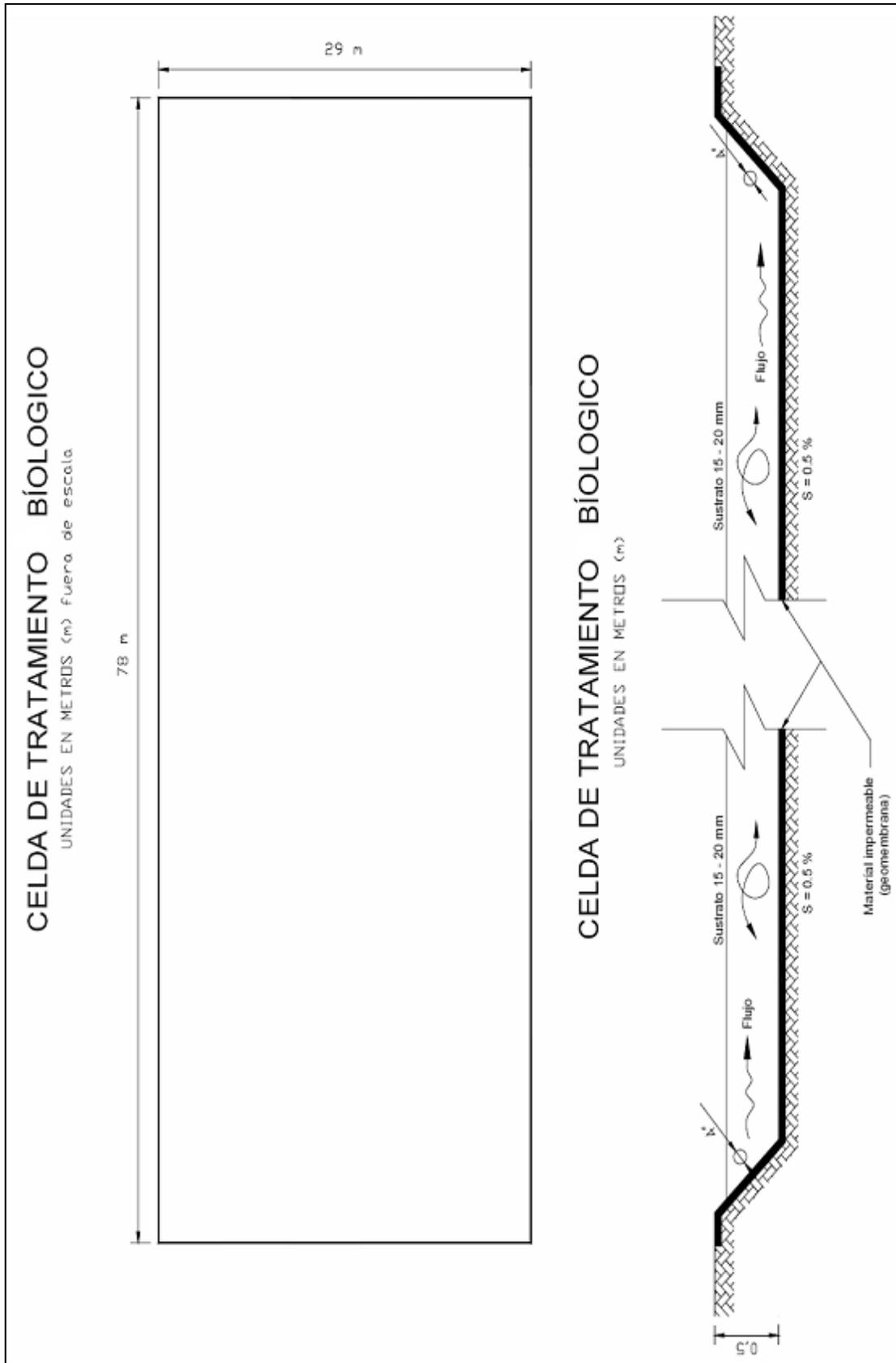


Fig. 5. 4 Diseño de las celdas de tratamiento biológico (humedales). Fuente CONAGUA 2006

Cabe recordar que este sistema funciona como un filtro físico mediante el sustrato mismo y como un filtro biológico, gracias a la acción de las raíces y bacterias establecidas. Siendo el proceso biológico el responsable de la remoción de elementos tóxicos y orgánicos responsables de la turbidez y mal olor, así como de los efectos insalubres del agua. Sin embargo el establecimiento de las colonias de bacterias no es inmediato a la instalación del humedal, pudiendo tardar periodos de tiempo superiores a un año. Por ello se deberá considerar que los resultados en la calidad del agua a la salida del sistema se irán incrementando paulatinamente.

La especie de planta utilizada será el Tule (*Typha spp*), que como beneficio adicional, podría ser utilizado para la fabricación de artesanías por los habitantes de la región.

| CARACTERISTICA | VALOR | UNIDAD |
|-------------------------------------|--------------|----------------|
| Longitud | 78.0 | m |
| Anchura | 29.0 | m |
| Profundidad | 0.5 | m |
| Superficie individual de las celdas | 2234.7 | m ² |
| Superficie total de humedades | 4469.5 | m ² |
| Pendiente en el piso del humedal | 0.5 | % |

Cuadro 5. 7 Características de las celdas de tratamiento. Fuente CONAGUA 2006

6.- Tanque de almacenamiento del agua tratada

El efluente obtenido al final del tratamiento será almacenado en una cisterna, para poder disponer de agua tratada. La forma en que se utilice se deja a consideración de las autoridades de la población beneficiada. Las características de la construcción se señalan en el cuadro 5. 8.

| CARACTERÍSTICA | VALOR | UNIDAD |
|-----------------------|--------------|----------------|
| Longitud | 4.0 | m |
| Anchura | 4.0 | m |
| Profundidad | 1.5 | m |
| Capacidad | 24.0 | m ³ |

Cuadro 5. 8 Dimensiones del tanque de almacenamiento del agua tratada
Fuente CONAGUA 2006

7.- Tuberías

La tubería inicial para intercepción de la red de drenaje será PVC con un diámetro de 4 pulgadas, considerando que el gasto de diseño es de 2.1 l/s. Para la distribución del afluente a los tanques sépticos y para la descarga del mismo a los humedales se usará tubería del mismo material con un diámetro de 2 pulgadas.

8.- Estructuras de entrada y salida

Para un aprovechamiento máximo del sustrato y de la vegetación, y para obtener los resultados esperados de tratamiento, es necesario que haya una distribución uniforme del agua parcialmente tratada en todo el humedal y una recolección de la misma manera eficiente. Esto se logra utilizando tuberías de distribución y recolección perforadas que se extienden a lo ancho de la celda, tanto para la entrada como a la salida.

Como estructura de entrada se usará un tubo de 4 pulgadas de diámetro para minimizar la presión, perforado longitudinalmente en la parte superior del tubo con tapones en los extremos, como se muestra en la figura 5.5. La pendiente horizontal del tubo deberá ser nula para garantizar una uniforme distribución de agua a lo ancho del humedal. Para evitar taponamientos en las perforaciones de la tubería de entrada, el sustrato que cubra esta tubería deberá ser de mayor calibre de 1 a 3 pulgadas o bien puede quedar a cielo abierto siempre que el nivel de los oficios este por debajo del nivel de salida de los tanques sépticos. Para las estructuras de salida se colocarán tubos con las mismas

características que en la entrada, para coleccionar eficientemente el agua tratada como se señala en la figura 5.5. La pendiente en el lecho del humedal contribuirá a la colección eficiente del efluente.

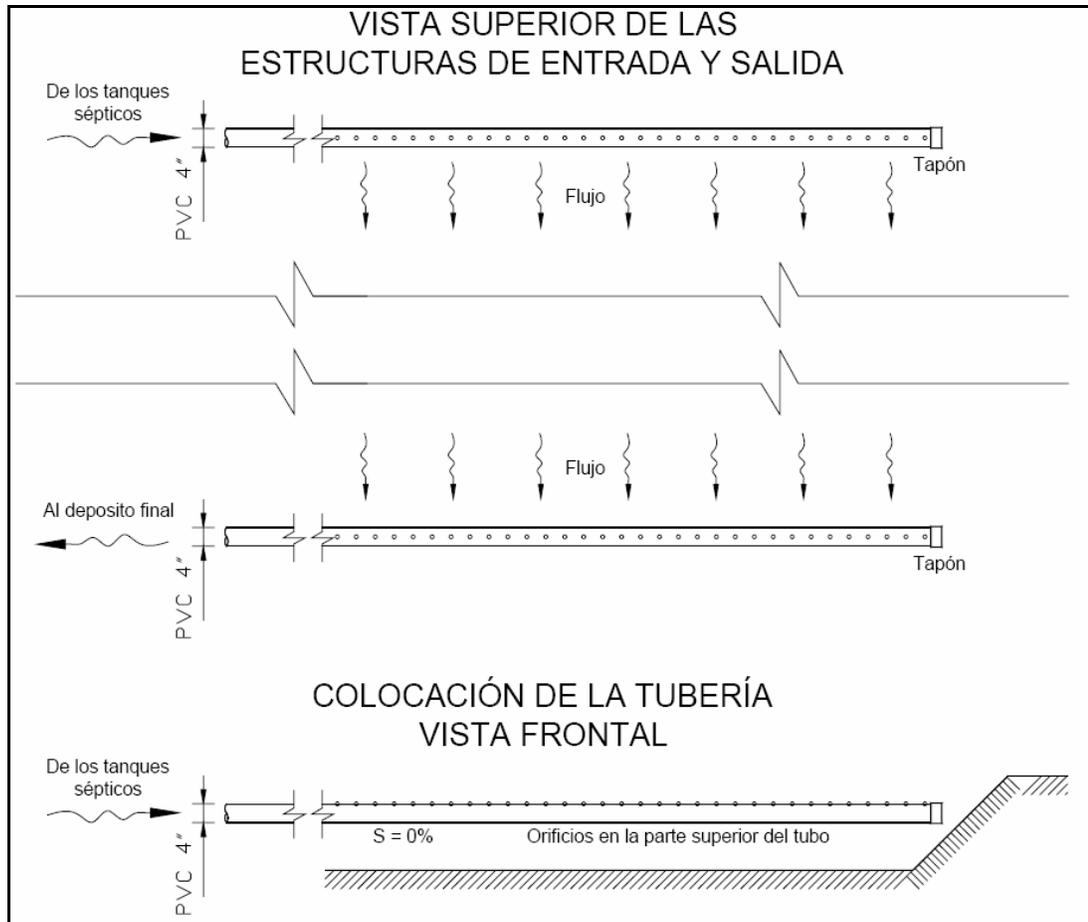


Fig. 5. 5 Arreglo de las estructuras de entrada y salida. Fuente CONAGUA 2006

9.- Sistema de aireación del humedal

Generalmente en estos sistemas el oxígeno que es transportado por la parte aérea de las plantas hacia sus raíces, no es suficiente para que se desarrollen óptimamente y cumplan las funciones de tratamiento requerido, ni para dar un medio adecuado para que los microorganismos realicen sus procesos metabólicos. Por esta razón, se establecerá un sistema de oxigenación al sustrato, colocando tubos de 4 pulgadas por un metro de longitud perforados en toda su longitud, como se ejemplifica en la figura 5.6.



Fig. 5. 6 Ejemplo de un tubo perforado para aireación del humedal

Se colocarán 10 tubos perforados distribuidos uniformemente en cada celda de tratamiento.

10.- Material impermeabilizante

Las funciones del material impermeabilizante son las siguientes:

- Impedir la infiltración de las aguas negras hacia los mantos freáticos y la Laguna.
- Delimitar el espacio de flujo de las aguas residuales a través del sustrato y facilitar su recolección.

La impermeabilización se puede efectuar de dos maneras: natural o artificial. El método de impermeabilización natural consiste en aprovechar las propiedades fisicoquímicas del suelo y las características del material del subsuelo, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas por la acción de los lixiviados.

Cuando el suelo tiene una proporción alta de arcillas, el material puede compactarse y usarse como un medio aislante natural. El método de impermeabilización artificial, consiste en colocar materiales con el fin de evitar que los lixiviados penetren a los mantos freáticos a través del subsuelo.

Entre los materiales artificiales o sintéticos más utilizados para la impermeabilización destacan el hule, polietilenos, PVC y geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE), estos materiales son de gran confiabilidad para lograr la impermeabilización requerida.

Para este proyecto en el que se requiere reducir al máximo la infiltración se utilizará una geomembrana de HDPE, con características mencionadas en el cuadro 5. 9.

| CARACTERÍSTICA | DETALLE |
|----------------------|----------------------|
| Tipo de membrana | Geomembrana HDPE |
| Espesor de la lámina | 1.5 mm |
| Superficie necesaria | 4,960 m ² |

Cuadro 5. 9 Características de la membrana impermeabilizante por humedal
Fuente CONAGUA 2006

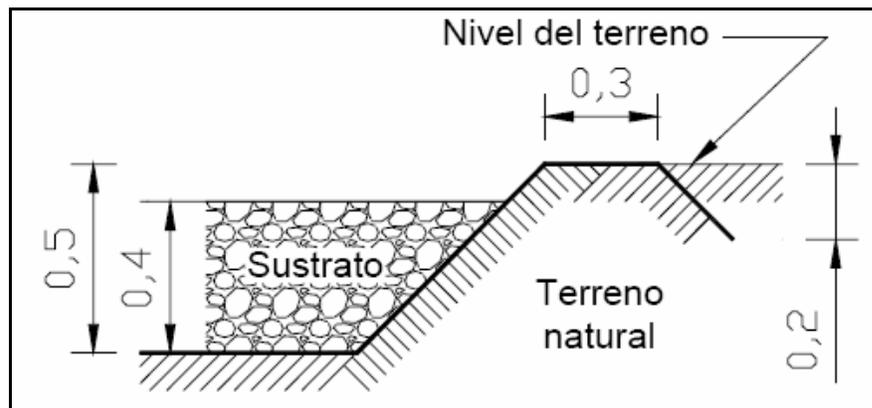


Fig. 5. 7 Detalle del anclaje de la geomembrana. Fuente CONAGUA 2006

Se dejará un metro adicional de geomembrana en los costados de la celda a lo largo y ancho de la misma para anclaje en el terreno. El proceso completo de la colocación de la geomembrana corre por cuenta del proveedor, sin embargo no incluye el acondicionamiento del terreno, el cual deberá estar excavado, nivelado, firme, compactado, sin charcos de agua que puedan dificultar el proceso de colocación y que puedan dañar el material. Véase fig. 5. 7.

El proveedor debe dar las garantías correspondientes por defectos de instalación y por la calidad del material.

11.- Sustrato

Los sustratos en los humedales construidos pueden ser suelo, arena, grava, roca, y hasta materiales orgánicos como composta. Debido a la baja velocidad del agua y al alto contenido nutrimental en el sistema, se van acumulando sedimentos y restos de vegetación durante el funcionamiento. Estos elementos son importantes por las siguientes razones:

- 1) Soportan organismos vivos en el humedal.
- 2) La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- 3) En el sustrato ocurren muchos procesos químicos y biológicos.
- 4) El sustrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- 5) La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio y fijación de microorganismos, es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Para la elección de un sustrato adecuado se deben tomar en cuenta factores adicionales como: la cercanía del material al sitio de interés, el precio y el tipo de vegetación que se vaya a establecer.

Debido a que el sustrato más fácil de conseguir en la zona es el tezontle, se usará este material con una granulometría de 15 a 25 mm.

Las características físicas y químicas del tezontle son:

pH = 7.35.

Ce = 0.15 ds/m.

Densidad aparente = 1.73 gr./cm³.

Densidad real = 2.76 gr./cm³.

Porosidad = 37%.

12.- Vegetación

En un sistema de humedales de flujo subsuperficial, la mayor importancia de las plantas radica en la transferencia de oxígeno a la zona de raíces y la acumulación de residuos vegetales, que sirven como medio de cultivo para las especies microbianas responsables de gran parte de los procesos de tratamiento.

La vegetación también es importante porque da lugar a velocidades bajas de flujo, permitiendo que los materiales suspendidos se depositen.

En este humedal se recomienda el tule (*Typha spp.*), por ser una especie capaz de crecer en distintas condiciones ambientales, además de que se propaga con mucha facilidad. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de Nitrógeno y Fósforo por la vía de la poda y cosecha. Esto quiere decir que no se requiere de podas constantes para una eficiente remoción de contaminantes.

Las plantas pueden extraer y acumular metales en la raíz, el tallo y las hojas, estabilizándolos mediante la formación de compuestos de coordinación con ácidos orgánicos y fitoquelatinas, confinándolos en la pared celular y vacuola. Trabajos realizados en la Universidad del Bío-Bío Chillán, Chile (Celis, 2005), indicaron que plantas de España (*Typha spp*) provenientes de un sitio altamente contaminado por metales pesados, presentaron la capacidad de remover Plomo, Cromo, Magnesio y Fierro en solución. Véase fig. 5. 8.

Gramíneas del género *Phragmites sp* y tifáceas como la *Typha sp*, son las plantas acuáticas más utilizadas, cosechándose sólo la parte aérea una vez al año. El sustrato debe ser remplazado cada 10 o 15 años, debido a que queda totalmente obstruido por lodos y residuos.

Se colocará una planta de tule o rizoma a intervalos de 60 centímetros con el fin de que se vayan propagando en la medida en que el sistema empiece a funcionar y las plantas se vayan adaptando a su medio. Se ha comprobado que si las condiciones son adecuadas, en menos de un año, la población será muy densa.



Fig. 5. 8 *Typha sp*

13.- Cercado perimetral

Con el objetivo de proteger las instalaciones de animales o personas no autorizadas que puedan dañar el sistema, es fundamental delimitar el área de trabajo. Con este fin, se instalará una cerca de base de malla de ciclón galvanizada a una altura de 2 metros.

Este proceso comenzará con el trazo de los linderos y la colocación de postes, según la disposición del propietario del terreno y de la comunidad beneficiada. Iniciando la construcción de la cerca, al final de la construcción de todo el sistema para que no interfiera con las demás actividades. La longitud total requerida de malla ciclónica dependerá del tamaño del humedal a realizar, para nuestro ejemplo práctico será de 250 metros lineales.

14.- Vida útil del sistema

Si las instalaciones reciben el mantenimiento y cuidados necesarios, tales como limpieza del canal de pretratamiento y eliminación de lodos en los tanques

sépticos; y si se realizan podas y eliminación de malezas en el humedal periódicamente según se requiera, el sistema puede durar hasta 20 años. Para ello se hacen las siguientes recomendaciones:

- 1) Que haya una persona encargada de vigilar diariamente el funcionamiento correcto del sistema y que realice las labores necesarias de mantenimiento.
- 2) Colocar una cerca o malla ciclónica para evitar el paso de animales y personas no autorizadas, que pudieran perjudicar las plantas del humedal y las instalaciones.

15.- Movimientos de tierra

Los movimientos de tierra que se llevarán a cabo se sintetizan en el cuadro 5.10.

| TIPO DE TRABAJO | MOTIVO |
|---------------------------------------|--|
| Excavación de zanjas | Debido a que actualmente el sitio se encuentra inundado, será necesario drenar el agua para permitir las labores posteriores de la maquinaria y demás. |
| Nivel del terreno | Eliminar las irregularidades topográficas inconvenientes para la construcción de las instalaciones y colocación de geomembrana. |
| Excavación para los humedales | Conformar el lecho para la colocación del sustrato que sostendrá las plantas del humedal y que en conjunto realizarán el tratamiento. |
| Excavación para los tanques sépticos | Construcción de los tanques sépticos de concreto. |
| Excavación para los pozos de registro | Construcción de los pozos de registro. |

Cuadro 5. 10 Movimientos de tierra que se requerirán para la construcción del humedal

16.- Disposición de los subproductos del pretratamiento

Los subproductos que se obtendrán en el canal de pretratamiento y los tanques sépticos serán arenas, grasas, lodos y desechos de un tamaño mayor a las aberturas de la rejilla más angosta que es de 10 milímetros.

Las arenas y sólidos obtenidos de las rejillas serán removidos de la unidad y colocados en un contenedor para luego ser retirados del sitio. Estos pueden ser utilizados para composta y de esta manera evitar su colocación en sitios indeseables.

17.- Proceso de construcción

Previamente a la construcción e instalación de los elementos que integran el sistema del humedal será necesario acondicionar el terreno.

Un vez que el área este acondicionada, se procederá a la nivelación y excavación de los tanques sépticos y los humedales de acuerdo a las especificaciones señaladas anteriormente. En la excavación de los humedales se deberá acondicionar la pendiente a 0.5% en el sentido del flujo del agua.

Un aspecto importante que requerirá supervisión en la etapa de construcción, es el arreglo de los niveles mínimos requeridos entre los dispositivos que forman parte del sistema, para garantizar el correcto funcionamiento del mismo. Esto se muestra en la figura 5. 9.

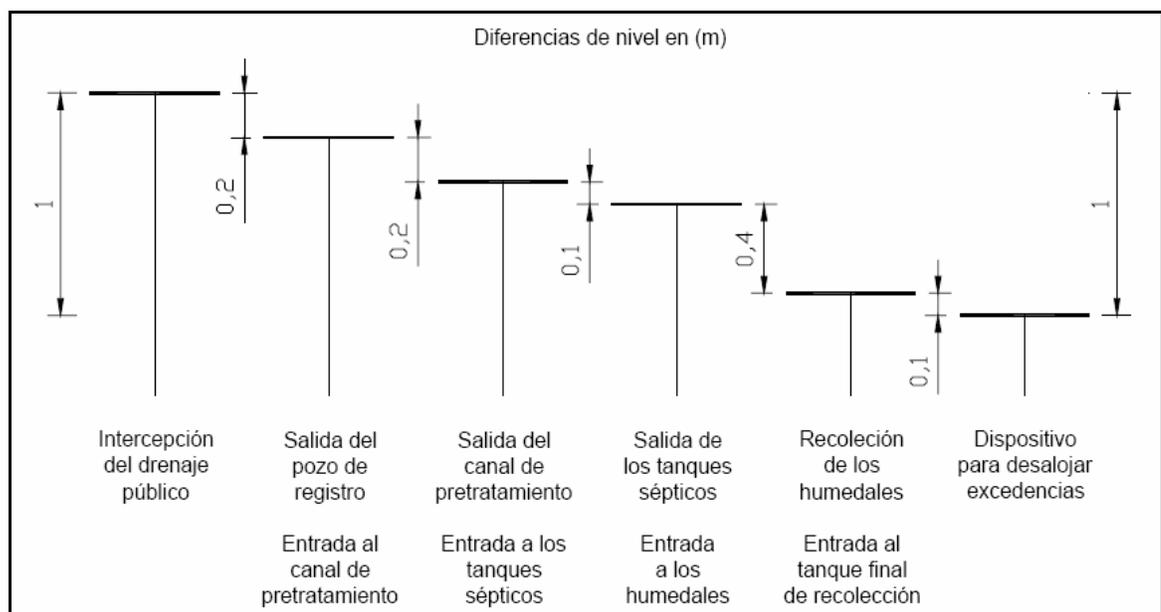


Fig. 5. 9 Diferencias mínimas de elevación en el sistema de tratamiento de humedales

En la última etapa de construcción se colocará la cerca de malla ciclónica para evitar daños al sistema. Se realiza al término de la ejecución del proyecto para que no haya interferencias durante el proceso de construcción, como el transporte de material y construcción del sistema.

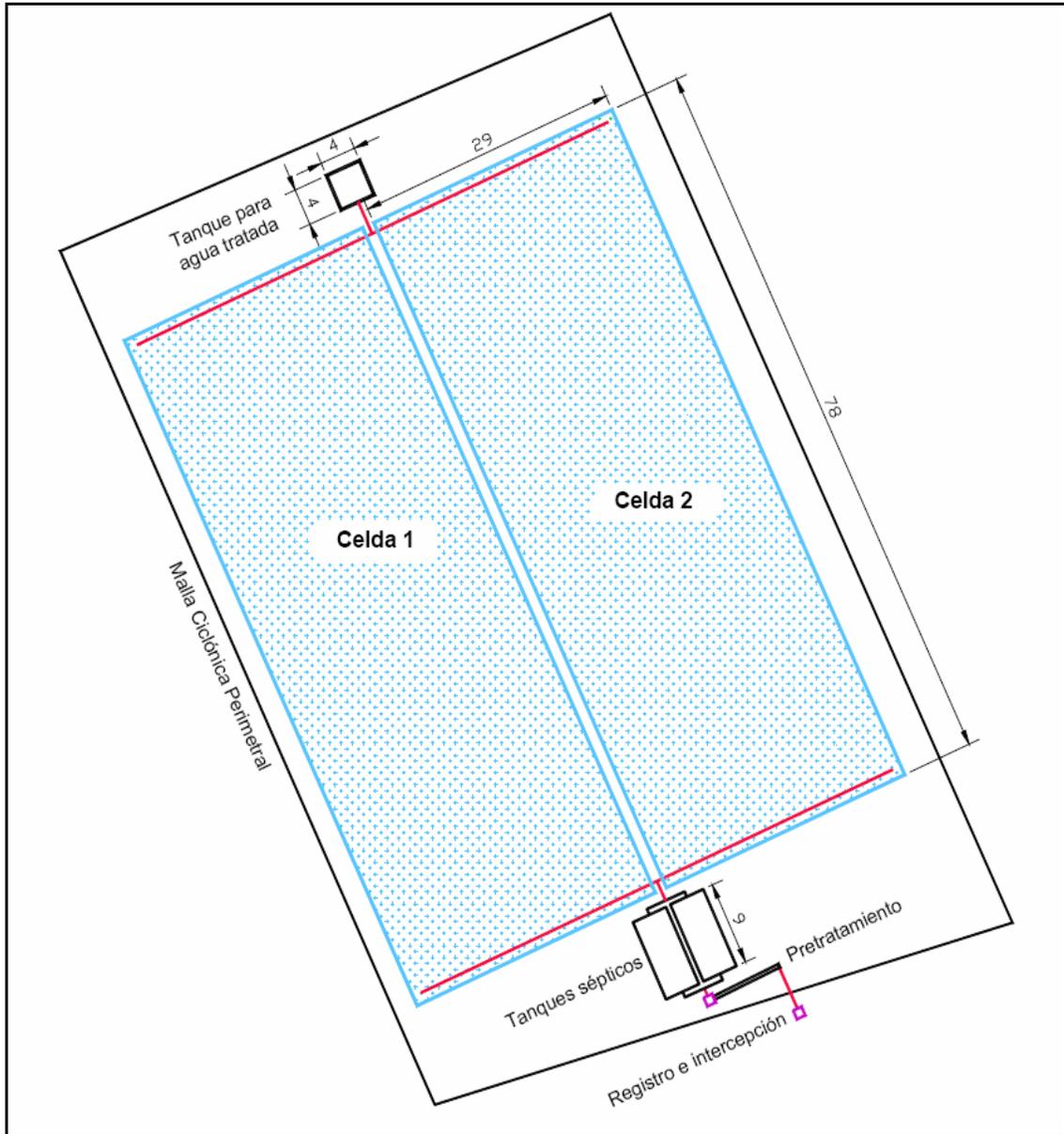


Fig. 5. 10 Distribución del sistema completo. Fuente CONAGUA 2006

El establecimiento de las plantas se realizará una vez que el sistema empiece a funcionar, para garantizar la humedad necesaria para el desarrollo vegetativo. La distribución del sistema completo se muestra en la fig. 5. 10.

18.- Costos de determinación de inversiones de obra civil, infraestructura y operación

En este apartado se presentan los lineamientos y análisis de los diferentes conceptos de inversión y costos de operación, para la construcción del humedal con una capacidad de 180, 000 litros/día.

Para lograr una operación eficiente del sitio, será necesario que los beneficiarios del proyecto consideren la estructura operativa y administrativa del sistema, para que su construcción sea eficiente y su funcionamiento el óptimo. Los conceptos de inversión que se establecen en el presente proyecto pueden tener variaciones, que dependerán de los flujos de inversión y del tiempo de ejecución.

| CONCEPTO | UNIDAD | VOLUMEN | PU (\$) | COSTO (\$) |
|--|----------------|----------|---------|----------------|
| Nivelación del terreno | m ² | 4,524 | 22 | 99,528 |
| Excavación | m ³ | 2,262 | 22 | 49,764 |
| Impermeabilización Geomembrana | m ² | 4,960 | 42 | 208,320 |
| Pozo de registro | m ³ | 1 | 850 | 850 |
| Tanques sépticos | m ³ | 180 | 850 | 153,000 |
| Pozo de distribución | m ³ | 1 | 850 | 850 |
| Canal de pretratamiento | m | 8 | 800 | 6,400 |
| Cerca de malla ciclónica | m | 350 | 42 | 14,700 |
| Pozo de almacenamiento de agua tratada | m ³ | 24 | 1000 | 24,000 |
| Sustrato tezontle 1/2 pulgada | m ³ | 1,809.60 | 50 | 90,480 |
| Total | | | | 647,892 |

Cuadro 5. 11 Programa de inversiones de obra civil e infraestructura en orden de construcción
Fuente CONAGUA 2006

Para el establecimiento de los humedales en paralelo en el terreno se requerirá de la utilización de maquinaria para excavación y de la contratación de personal de construcción. Debido a que generalmente las construcciones se realizan por contratos, los costos se presentan por trabajo completo de construcción, según el cuadro 5.11.

Las tuberías y accesorios serán de PVC, ya que es un material de fácil manejo y como el tratamiento será para aguas residuales urbanas sin presencia de

contaminantes industriales, no se requiere de materiales resistentes a la corrosión. Los costos y cantidades se desglosan en el cuadro 5.12 y los costos totales del proyecto en el cuadro 5.13

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | PU (\$) | COSTO (\$) |
|-------------------------|--------|----------|---------|--------------|
| Tubería de 2" | m | 40 | 17 | 680 |
| Tubería de 4" | m | 180 | 19 | 3,420 |
| Codos de 90° de 2" | pieza | 2 | 24 | 48 |
| Codos de 90° de 4" | pieza | 1 | 92 | 92 |
| T de 4" x 2" | pieza | 1 | 70 | 70 |
| T de 4" x 4" | pieza | 2 | 85 | 170 |
| Tapón de rosca 2" | pieza | 20 | 17 | 340 |
| Tapón de rosca 4" | pieza | 2 | 22 | 44 |
| Válvulas de mariposa 4" | pieza | 4 | 500 | 2,000 |
| Válvulas de mariposa 2" | pieza | 2 | 400 | 800 |
| Total | | | | 7,664 |

Cuadro 5. 12 Costos por tubería y conexiones. Fuente CONAGUA 2006

| CONCEPTO | COSTO |
|------------------------------|------------------|
| Obra civil e infraestructura | 647,892 |
| Tuberías y conexiones | 7,664 |
| Imprevistos (10%) | 65555.6 |
| Costo Total | 721,111.6 |

Cuadro 5. 13 Resumen de costos. Fuente CONAGUA 2006

5.3 Implementación de baños secos

Un baño seco: es un baño que no utiliza agua para la evacuación de orina y excrementos. El sistema del baño seco se ha desarrollado mucho durante los últimos años. Los equipos modernos se distinguen de los antiguos porque el excremento no va directamente al suelo, lo que producía olores horribles.

El tratamiento de las aguas residuales es un problema que va adquiriendo importancia día a día. Los baños secos no necesitan agua para su funcionamiento y no se conectan a la red de aguas residuales. Además son muy eficaces biológicamente, ya que aprovechan los residuos humanos y

favorecen la economía doméstica, ahorrando dinero y energía. Existen variedad de modelos y marcas comerciales, con formas y diseños diferentes. Pueden ser por ejemplo, baños secos composteros o parcialmente composteros, eléctricos o con separador de orina. También pueden ser construidos por uno mismo (Cordoba, 2003).

Los baños secos son sistemas que tratan el detritus humano cuando fermentan y los deshidratan para producir un producto final utilizable y valioso para el suelo. La ventaja de estos baños es que no causa daños al medio ambiente, no utilizan agua y tampoco se conectan a la red de aguas residuales, evitando así contaminar el subsuelo.

Existen muchos motivos que aconsejan la instalación de este sistema ya que producen beneficios para el que los instala, al tiempo que también es un beneficio para la sociedad y para el medio ambiente. Los ahorros obtenidos son significativos en ahorro de agua. Hay muchos sitios donde no es posible instalar un baño convencional y sí un baño seco como por ejemplo: lugares rocosos, zonas con nivel freático alto, un medio ambiente sensible y cerca de yacimientos de agua. Este sistema es una buena idea para plantear en la cuenca de la laguna de Tecocomulco en algunas comunidades, ya que el agua empieza a ser un bien escaso, por lo que urge empezar a plantear soluciones como ésta para potenciar el ahorro de agua, éste parece ser un método bastante efectivo. El principal factor en contra, radica en que la mayoría de la gente no conoce este método y puede dar la sensación de ser poco higiénico, pero esto no es cierto, ya que es un sistema limpio y además, proporciona muchos beneficios al producir recursos naturales y ahorrar agua.

5.3.1 Tipos de baños secos

Existen diferentes tipos de baños secos dependiendo de la función para los que están diseñados (www.drytoilet.org), estos se clasifican de la manera siguiente:

a).- Los baños composteros

Son un modelo de baño seco en el cual la materia orgánica fermenta en un contenedor y el producto final obtenido se puede utilizar como abono en jardines.

Los contenedores son normalmente grandes o de tipo carrusel. Esto significa que hay varios contenedores para usar y cuando uno se llena se cambia por otro vacío. Cuando todos los contenedores están llenos, el primero que estaba en uso, está fermentado totalmente y se puede utilizar. La orina se puede recoger en un recipiente separado o bien, los excesos de líquido se pueden captar del fondo del contenedor. La orina que se separa puede ser utilizada como fertilizante.

b).- Los baños en que el producto final necesita más fermentación

Son los que no fermentan el compuesto completamente. La masa orgánica necesita fermentar más después de que el tanque se vacíe.

Estos modelos se aconsejan para las residencias de verano. Los contenedores para el excremento son pequeños porque se conectan directamente al inodoro. Por eso requieren un vaciado frecuente y la masa no tiene tiempo para fermentar. Este tipo de baños también incluyen un recipiente para la sustancia seca, que se tiene que añadir después de cada uso. Se puede recoger la orina en un recipiente separado y después se evapora. Existen también modelos que disponen de aireación correctora para evitar problemas de olores y humedad.

c).- Baños eléctricos

Estos modelos necesitan electricidad para tratar el excremento. Algunos baños producen una sustancia que necesita fermentar más y algunos la producen ya fermentada. Los baños eléctricos pueden instalarse sólo dentro de casa, porque los procesos de fermentación y de evaporación necesitan al menos 18 °C.

Estos baños pueden utilizar agua ya que no hay ningún peligro de electrocución. Ocupan poco espacio y se instalan directamente sobre el suelo. Uno de los inconvenientes puede ser que normalmente los baños eléctricos necesitan más mantenimiento que los baños secos, con contenedores más grandes.

Los baños eléctricos pueden hacer fermentar, empaquetar o congelar los residuos. Los baños que realizan la fermentación se componen de un inodoro tradicional con una conexión a un depósito con gas inflamable o a un sistema de calefacción eléctrico para fermentar los residuos. Los productos finales son principalmente agua y ceniza no peligrosa.

En el caso de los baños que empaquetan, el residuo va directo a una bolsa de plástico. Cuando el tanque está lleno se procede a vaciar las bolsas en un agujero en el suelo o en un compostero, depende del material que se utiliza en la bolsa.

Los baños que congelan son totalmente dependientes de electricidad. Se pone en conserva el residuo en una bolsa de plástico desde -10° C hasta -15° C. Cuando el contenedor está lleno se procede a vaciar el material helado a un compostero. Los baños que congelan el residuo no necesitan ventilación y son fáciles de instalar.

d).- Baños químicos

Los baños químicos son pequeños en cuanto a dimensiones y normalmente se utilizan en casos especiales o de uso temporal. Se pueden utilizar por ejemplo en barcos, caravanas y en medios de transporte de largo recorrido como autobuses, trenes, etc.

Los productos químicos se añaden al contenedor para deshacer las heces y el papel. Estos baños también previenen temporalmente la degradación biológica y eliminan las bacterias que se producen en los intestinos.

Hay muchos tipos de productos químicos en los comercios, pero es mejor utilizar los que son menos dañinos. El contenedor se tiene que vaciar en un lugar separado de donde se recoge normalmente. No se puede fermentar el material por la acción de los productos químicos, su funcionamiento se basa en el uso de un líquido químico sanitario.

e).- Baños secos caseros

Son los conocidos como “letrinas”, son un método muy antiguo, pero todavía generalizado, consiste en cavar un agujero en el suelo donde el excremento se deposita directamente. Este modo produce malos olores además de ser potencialmente dañino para las aguas subterráneas. Aunque existen variaciones de los baños secos caseros, es posible construir uno que sea higiénico y que funcione correctamente. Se pueden impedir los olores no deseados separando los líquidos y con una ventilación apropiada. Cuando la orina se separa y la sustancia seca se reutiliza, la masa del baño empieza a fermentar y no produce malos olores.

La masa que se obtiene de los baños secos caseros necesita más tiempo para su fermentación. Para la construcción de un baño seco se tienen que tener en cuenta diversos factores para el correcto funcionamiento del mismo:

1.- Ventilación

Necesita de un sistema de ventilación individual, es decir, que ventile por un sitio diferente al sistema de ventilación del interior de la casa, ya sea aire acondicionado o una chimenea. Así evitaremos que el “baño seco” tenga que ‘competir’ con ellos y se evitaren los malos olores.

Esta ventilación tiene que ser completamente vertical. Algunos modelos incluyen un tubo incorporado para este fin, cuando su uso va a ser en interiores de vivienda es necesario colocar un ventilador estático.

2.- Colocación

Existen modelos que se colocan directamente sobre el suelo sin necesidad de ser anclados; sin embargo, otros necesitan un espacio practicable en la parte inferior del forjado donde colocar el recipiente para almacenar los desechos. Dependiendo del uso se elegirán unos u otros modelos.

3.- La sustancia seca

La sustancia seca se utiliza en muchos modelos para absorber los líquidos. También funciona como un recubrimiento para evitar moscas y otros insectos que producen las heces.

Existen diferentes tipos de sustancia seca en el mercado y además pueden ser mezcladas con otros productos, por ejemplo: hojas, aserrín, paja. La mejor mezcla para absorber el líquido se obtiene de la combinación de 50 % de aserrín y 50 % de arena. Se deposita la mezcla en el fondo del contenedor para proporcionar suficiente aire y empezar el proceso de fermentación, de esta forma evitar los problemas de olores.

También se pueden utilizar los residuos de la cocina, como vegetales u hortalizas, las pieles de las frutas, pero no en cantidades abundantes ni demasiado húmedas. Los residuos de la comida se pudren pronto y pueden crear problemas de olores y moscas.

4.- Higiene y limpieza

La higiene es un factor importante de sanidad tanto para los baños de agua como para baños secos. Se debe mantener y limpiar el baño regularmente y con los sistemas apropiados. Se debería dar la posibilidad de lavarse las manos después de cada uso. En la mayoría de los baños ecológicos se realiza la higiene y el mantenimiento con un poco de agua y jabón, procurando no mezclar el agua de la limpieza con los residuos depositados en los contenedores del baño.

5.- Olor

La mayor causa de olor en los baños secos se debe a la orina. Si el baño no dispone de la ventilación correcta o el desecho está demasiado húmedo, el olor puede llegar a ser un problema; pero si este funciona correctamente huele menos que un inodoro normal.

Los olores se pueden evitar fácilmente con un uso correcto del baño. Pero si estos persisten hay formas de eliminarlos mediante el uso de sustancias químicas como la cal o mediante la aplicación de materia seca.

6.- Moscas

El primer método para evitar las moscas en los baños es impedir que entren al tanque. Hay muchos modos de conseguirlo. Colocar una red tupida en la salida de los tubos de ventilación es uno de ellos.

Si el composteo funciona bien, las moscas no pueden reproducirse allí. Por eso es importante utilizar la sustancia seca después de cada uso y no dejar que el material del tanque llegue a estar demasiado húmedo. Esto también se ayuda cerrando la tapa.

Si las moscas han entrado al baño por alguna razón, también pueden utilizarse productos químicos e insecticidas. Los insecticidas que se utilizan como pyretrine, tienen que poder compostar. De igual manera se pueden utilizar trampas para moscas.

Si existen larvas se puede mezclar el compuesto dejando estas en la parte inferior. Esta científicamente probado que las larvas mueren a 43° C.

5.3.1.1 Manejo de la composta

El excremento compostado es una sustancia valiosa para el suelo. La excreta del baño seco puede estar parcialmente compostada, seca o hasta congelada; pero para que esta sea útil tiene que realizarse la degradación completamente. Si la excreta no se ha mezclado con la sustancia seca durante el uso, tendrá que hacerse posteriormente para que pueda ser compostada. Normalmente se necesita un año para compostar el excremento del baño seco, empezando este proceso cuando ya no se añade más excremento. Si el excremento está seco, congelado, o el ambiente es frío, el tiempo de compostaje será mayor. La recomendación de compostar el excremento durante todo el año asegura que la composta este suficiente madura para su uso.

La capa inferior del compost se debe componer de ramas entre 20 y 50 centímetros. Arriba de esta capa se añaden los residuos del baño seco y la sustancia seca. Los residuos del baño seco se deben cubrir siempre con la sustancia seca. Estos residuos también pueden mezclarse con los restos del jardín como son: hojas y ramas pequeñas; ya que estos hacen la vez de sustancia seca. El compost del jardín funciona mejor con orina debido al nitrógeno que esta contiene.

Además al formarse el compost aeróbicamente no se forma gas metano con lo que contribuimos a evitar la formación de uno de los gases que contribuye a aumentar la temperatura de la Tierra por el efecto invernadero; además contribuimos a reciclar al suelo, la energía del sol convertida en materia orgánica.

5.3.1.2 El uso de la orina

La orina que es separada no debe tener contacto con el excremento. Algunos modelos de baños secos en el mercado separan la orina desde el inodoro,

almacenándola en un recipiente y evitando de este modo su contacto con el excremento (Trujillo, 2003).

En la orina hay muchas más sustancias nutritivas que en el excremento posee oligoelementos equilibrados. La orina es una sustancia nutritiva perfecta, utilizable directamente por las plantas, con la capacidad de ser casi estéril, por eso es posible utilizarla sin ningún tratamiento especial.

Hay muchas maneras de trabajar la orina.

- Recogerla en un cubo separado y utilizarla como un fertilizante o aditivo para el compost del jardín.
- Impregnar a la turba o a otra sustancia seca y utilizarlo como abono.
- Llevarla a aguas grises.

Si se necesita almacenar orina es posible calcular el tamaño del recipiente sabiendo que un adulto produce desde un litro hasta un litro y medio por día. Hay muchos modos de almacenaje, cubo cubierto, bidones de 25 litros entre otros. Lo principal es que su tratamiento sea lo más fácil posible y que se evite trasladar la orina de un recipiente a otro. El almacenaje de la orina tiene que estar a la sombra.

Conclusiones

En la realización de esta monografía se pudo observar que algunos objetivos planteados en un inicio fueron parte del trabajo a realizar, para buscar una solución viable a una parte de la problemática identificada en la cuenca de la laguna de Tecocomulco, en el Estado de Hidalgo.

Las propuestas de los proyectos planteados están diseñadas para cubrir con las necesidades que se presentan en las comunidades de la cuenca, de igual manera se busca incrementar el nivel ecológico, económico y social de la región.

Respecto a la problemática de azolvamiento y pérdida de capacidad de almacenamiento de agua de la laguna de Tecocomulco, por el arrastre de sedimentos de las partes medias y altas de la cuenca, generadas por la erosión hídrica. Es necesario se implementen las obras de conservación de suelo y agua en las áreas en donde se detecta la ausencia de cubierta vegetal y la presencia de cárcavas de manera inmediata. Teniendo en cuenta que estas zonas representan una fuente importante de producción de escurrimientos superficiales, grandes tasas de erosión y en consecuencia, representan una fuente de generación de sedimentos que son transportados hacia los cuerpos de agua, como las presas y la propia laguna de Tecocomulco.

De acuerdo a la problemática de las actividades turísticas las propuestas presentadas buscan aumentar diversificación de las actividades en las comunidades circundantes a la laguna y en aquellas que también se encuentran más retiradas. Así mismo se busca obtener un mayor porcentaje de ingresos económicos en los pobladores participantes de los proyectos y elevar el nivel de aprovechamiento de las especies utilizadas en las actividades gastronómicas que se realizan en la laguna, al aplicar las técnicas de producción propuestas.

Para mitigar la contaminación en la laguna de Tecocomulco por la entrada de aguas contaminadas provenientes de comunidades ubicadas en las partes altas y medias de la cuenca, mismas que por su topografía envían sus aguas a la laguna. Se propone implementar humedales artificiales en las comunidades para dar un tratamiento a sus aguas residuales. De igual manera en las comunidades que no existe la posibilidad de realizar la colocación de drenaje, como alternativa de solución se propone la implementación de baños secos, tecnología que ayuda en gran medida a evitar la contaminación del suelo y agua por heces fecales.

Cabe hacer mención que las propuestas presentadas en esta monografía son solo algunas técnicas aplicables a tener en cuenta para lograr un manejo integral y sustentable en una cuenca; mismas que son consideradas como las más importantes para esta región. Las cuales están siendo aplicadas para evitar que tan importante lugar de nuestro Estado siga deteriorándose, además de que se pierda un paisaje tan bello como el que nos brinda la laguna de Tecocomulco.

Referencias Bibliográficas

Altieri, Miguel Angel; Hecht, Susana; Liebman, Matt; Magdoff, Fred; Norgaard Richard y Sikor, Thomas. (1996). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sostenible* (segunda edición ed.). Santiago de Chile: Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo. pp. 15-187.

Campos, A. D. (1987). *Procesos de ciclo Hidrológico* (Vol. 1). San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. pp. 26-123.

Combe, J. y Budowski G. (1979). *Classification of agroforestry techniques*. Costa Rica: CATIE. pp. 25-98.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2006). *Los humedales prioritarios de México*. México. pp. 23-104.

Comisión Nacional del Agua. (2005). *Caracterización, diagnóstico y propuestas para un manejo integral en la cuenca Tecocomulco*. Estado de Hidalgo, México. pp. 8-65.

Comisión Nacional del Agua. (2002). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Tecocomulco*. Estado de Hidalgo, México. pp. 23-76.

Comisión Nacional del Agua. (2005). *Diagnóstico de erosión de la cuenca de Tecocomulco*. México: Aguas del Valle de México. pp.13-55.

Comisión Nacional del Agua. (2006). *Estadísticas del agua en México*. México. pp. 15-114.

Comisión Nacional del Agua. (2006). *Estudio de Caracterización Hidrológica de las subcuencas de la Laguna de Tecocomulco*. Hidalgo, México. pp. 12-79.

Comisión Nacional del Agua. (2006). *Programa de Obras y Acciones para la preservación de la cuenca Tecocomulco*. Estado de Hidalgo, México. pp. 8-158.

Comisión Nacional Forestal. (2004). *Protección Restauración y Conservación de Suelos Forestales, Manual de obras y prácticas*. pp. 37-204.

Cordoba, A. y. (2003). *Implementación de saneamiento seco urbano a gran escala: una agenda para la acción*. Ithaca, New York: Universidad Cornell. pp. 635-643.

Díaz, J. R. (2003). *Agricultura Sostenible: ecológica u orgánica*. Panamá: CYTED. pp. 44-168.

Fernández, G. y. (1998). *Crecimiento y Producción de carpa común (cyprinus carpio) durante la época de sequía y lluvias en un bordo del Estado de México*. Estado de México. pp. 117-123.

IMTA. Coordinación de Tecnología de riego y drenaje. (1997). *Rehabilitación de Microcuencas, Jiutepec*. Morelos, México. pp. 45-78.

Mariano, C. L. (2006). *La gestión integral de los recursos hídricos. Tesis para obtener el título de Maestro*. Posgrado de Ingeniería Agrícola y uso integral del agua: Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. pp. 8-34.

Mena, J. (2005). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales*. España. pp. 7-109.

Navarro, B. A. (2005). *Labranza de conservación*. Chapingo, Estado de México: SAGARPA-CP. pp. 19-43.

Postgraduados, C. d. (1977). *Manual de conservación del suelo y del agua*. Chapingo, Estado de México: Chapingo. pp. 8-45.

SAGARPA. (2005). *Manual para el cultivo de rana toro*. Tepic Nayarit, México. pp. 6-38.

SEMARNAT-CONAFOR. (2004). *Manual de obras y prácticas de protección, restauración y conservación de suelos forestales*. México. pp. 37-204.

Trujillo, H. G. (2003). *Saneamiento Ecológico*. Chiapas, Mexico: Universidad Autónoma de Chiapas. pp. 1-19.

Glosario

Adyacente. Contiguo, situado en las inmediaciones o proximidades de otra cosa.

Afluyente. Que afluye. Corriente de agua que no llega hasta el mar sino que desemboca en otra corriente de agua. Arroyo o río secundario que desemboca en otro principal.

Agostadero. Zona destinada para la alimentación de animales normalmente se ubica en laderas.

Aguas residuales. Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aluvi6n. Avenida fuerte de agua, inundaci6n. Sedimento arrastrado por las lluvias y las corrientes.

Avitaminosis. Carencia o deficiencia de vitaminas.

Azada. Instrumento agr6cola formado por una pala de metal cuadrangular, afilada en uno de sus extremos, que est1 sujeta a un mango o astil.

Azad6n. Instrumento parecido a la azada, pero con la pala algo curva y m1s larga que ancha.

Canibalismo. Costumbre humana de comer carne de seres de su misma especie. Antropofagia. Costumbre de algunos animales de comer carne de otros de su misma especie.

Canícula. Calor, bochorno, calima, calina.

Cárcava. Foso o zanja que suelen hacer las corrientes de agua al erosionar un terreno.

Cuenca hidrográfica. Unidad morfológica superficial definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado.

Engordar. Cebiar, dar mucho de comer para poner gordo.

Erosión. Desgaste producido en un cuerpo por el roce de otro. Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos.

Escarda. Limpia de lo sembrado. Época del año en que se quitan las malas hierbas y se preparan los terrenos para la siembra. Azada pequeña con que se escarda o se limpia de hierbas la tierra.

Escardar. Quitar o arrancar las hierbas nocivas de los sembrados
Separar y apartar lo malo de lo bueno.

Escardillo. Azada pequeña que sirve para escardar y limpiar la tierra de malas hierbas.

Escorrentía. Corriente de agua que rebosa su depósito o cauce natural o artificial. Erosión producida por una corriente de agua. Agua de lluvia que escurre por un terreno.

Faenar. Realizar las faenas propias de la pesca marina desde una embarcación. Realizar las labores propias del campo.

Faenamiento. Realizar el sacrificio de animales.

Gavión. Caja rectangular prefabricada, construida con malla de alambre hexagonal, de triple torsión, unida con alambre de acero suave galvanizado y reforzado, de medidas acordes a las necesidades que requiere el tamaño de cada presa a construir.

Hepática. Grupo de plantas briofitas, sin tejidos conductores, con aspecto de tallo con hojas o simplemente de lóbulos aplanados, que se reproducen sexual y asexualmente y habitan en zonas húmedas de todo el mundo.

Heterogéneo. Diverso, variado, dispar, híbrido, mezclado, distinto, múltiple.

Humedal. Ecosistema que presenta superficies cubiertas de agua, permanentes o temporales, dulces o saladas.

Inerme. Abandonado, desarmado, indefenso.

Laborear. Labrar o trabajar una cosa. Hacer excavaciones en una mina. Pasar y correr un cabo por una garrucha o polea.

Ladera. Cualquiera de los lados en declive de un monte.

Letárgico. Que padece letargo. Relativo a esta enfermedad. Estado de adormecimiento e inactividad en que se quedan algunos animales, como los reptiles, en las épocas frías del año. Estado de cansancio o adormecimiento en que se encuentra una persona a causa del sueño o de una enfermedad.

Marroquinería. Industria o fabricación de artículos de piel o de cuero. Conjunto de artículos fabricados por esta industria. Igual conocido como tafiletería.

Metamorfosis. Transformación de una cosa en otra. Conjunto de modificaciones morfológicas y estructurales que tiene lugar en el desarrollo post-embrionario de algunos animales, como los insectos y los batracios.

Omnívoro. Animal que se alimenta de toda clase de sustancias orgánicas, tanto vegetales como animales.

Preparar el terreno. Conseguirle un ambiente favorable para la producción de algo determinado.

Perenne. Permanente, que no muere.

Pústula. Vejiga inflamatoria de la piel que está llena de pus. Cualquier herida que presenta pus o costra.

Rastrojo. Residuo de cosecha aprovechada por los animales como alimento.

Rizoma. Tallo subterráneo de ciertas plantas, generalmente horizontal, donde se almacenan las sustancias de reserva. Tallo horizontal y subterráneo que por un lado echa ramas aéreas verticales y por el otro raíces.

Roca. Material formado por un conjunto consolidado o no de minerales definidos, que forma parte de la corteza o manto terrestres.

Sedimentación. Proceso de acumulación de material orgánico, detrítico o químico en un medio lacustre, continental o marino. Depósito, en el fondo del recipiente de las partículas sólidas que están dispersas en un fluido.

Terraplén. Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante. Desnivel de tierra, cortado.

Terraza. Terraplén formado entre dos bordos de tierra o la combinación de bordos y canales construidos en sentido perpendicular a la pendiente.

Terreno. Extensión o espacio de tierra.

Terreno abonado. Circunstancia en que se dan condiciones óptimas para que se produzca algo determinado.

Vacuola. Pequeña cavidad de las varias existentes en el citoplasma de una célula limitada por una membrana, que están llenas de aire, líquido o diversas sustancias y desempeñan diferentes funciones. Formación intracelular citoplasmática que constituye una cavidad separada por una membrana vacuolar.

Anexos

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Tablas.

Tabla 1.

| FRECUENCIA DE MUESTREO | | | |
|--|-----------------------------------|---|---------------|
| HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA | NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES | INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS) | |
| | | MINIMO | MAXIMO |
| Menor que 4 | Mínimo 2 | N.E. | N.E. |
| De 4 a 8 | 4 | 1 | 2 |
| Mayor que 8 y hasta 12 | 4 | 2 | 3 |
| Mayor que 12 y hasta 18 | 6 | 2 | 3 |
| Mayor que 18 y hasta 24 | 6 | 3 | 4 |

N.E. = No especificado

Tabla 4.

| DESCARGAS MUNICIPALES | |
|---|--------------------------------|
| FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE: | RANGO DE POBLACIÓN: |
| 1 de Enero de 2000 | mayor de 50,000 habitantes. |
| 1 de Enero de 2005 | De 20,001 a 50,000 habitantes. |
| 1 de Enero de 2010 | De 2,501 a 20,000 habitantes. |

Tabla 5.

| DESCARGAS NO MUNICIPALES | | |
|---|--|--------------------------------|
| FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE: | CARGA CONTAMINANTE | |
| | DBO₅ (Toneladas/día) | SST (Toneladas/día) |
| 1 de Enero de 2000 | Mayor de 3.0 | Mayor de 3.0 |
| 1 de Enero de 2005 | De 1.2 a 3.0 | De 1.2 a 3.0 |
| 1 de Enero de 2010 | Menor de 1.2 | Menor de 1.2 |

TABLA 2

| LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|-----------------------------------|------|------------------------|------|---|------|----------------|------|---------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|
| PARÁMETROS | RIOS | | | | | | 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) | |
| (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | 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 | 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 |
| Materia Flotante (3) | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU | AU |
| Sólidos Sedimentables (ml) | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | N.A. | N.A. | 1 | 2 |
| Sólidos suspendidos totales | 150 | 200 | 75 | 125 | 40 | 60 | 75 | 125 | 40 | 80 | 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 | 80 | 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 ponderada

(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 Desechos.

TABLA 3

| LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|--|------|------------------------|------|---|------|----------------|------|---------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|
| PARÁMETROS | RIOS | | | | | | 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) | |
| (Miligramos por litro) | 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 | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 |
| Cobre | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 |
| Cromo | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 |
| Mercurio | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.2 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.05 | 0.01 |
| Niquel | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 |
| Plomo | 0.5 | 1.0 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 0.2 | 0.4 | 5.0 | 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 |

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 Desechos.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o Municipal. Tablas.

Tabla 1

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES | | | |
|--|-------------------------|------------------------|--------------------|
| PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio Mensual | Promedio Diario | Instantáneo |
| Grasas y aceites | 50 | 75 | 100 |
| Sólidos sedimentables (ml/l) | 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 |

Tabla 2

FRECUENCIA DE MUESTREO

| FRECUENCIA DE MUESTREO | | | |
|--|-----------------------------------|---|---------------|
| HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA | NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES | INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS) | |
| | | MINIMO | MAXIMO |
| Menor que 4 | Mínimo 2 | N.E. | N.E. |
| De 4 a 8 | 4 | 1 | 2 |
| Mayor que 8 y hasta 12 | 4 | 2 | 3 |
| Mayor que 12 y hasta 18 | 6 | 2 | 3 |
| Mayor que 18 y hasta 24 | 6 | 3 | 4 |

Tabla 3

| FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE: | RANGO DE POBLACIÓN: |
|---|--------------------------------|
| 1 de Enero de 2000 | mayor de 50,000 habitantes. |
| 1 de Enero de 2004 | De 20,001 a 50,000 habitantes. |
| 1 de Enero de 2009 | De 2,501 a 20,000 habitantes. |

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público.

Tabla 1

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

| TIPO DE REUSO | PROMEDIO MENSUAL | | | | |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | Coliformes Fecales NMP/100 ml | Huevos de Helminto (h/l) | Grasas y aceites mg/l | DBO₅ 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 |

OTROS TEMAS DE POSIBLES INVESTIGACIONES.

La cuenca de la laguna de Tecocomulco por sus características presenta gran variedad de temas para investigación por parte de estudiantes e investigadores de diversas ramas. A continuación proponen algunos temas que pueden servir de base para futuras generaciones:

- Alternativas de solución al problema de tenencia de la tierra que se presenta en la zona de Tecocomulco de Juárez en el Estado de Hidalgo.
- Implementación de huertos de traspatio en comunidades de la cuenca de la laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.
- Viabilidad de la implantación de un biodigestor y su eficacia en comunidades de la cuenca de la laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.
- Aplicación de Unidades de manejo y protección de Vida silvestre (UMAS) para la recuperación de especies en peligro de extinción en la cuenca de la laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.
- Aplicación de viveros forestales en la cuenca de la laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.
- Colocación de invernaderos para elevar la producción de vegetales comestibles en la cuenca de la laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.