



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

PROPUESTA TÉCNICA PARA LA GENERACIÓN DE UN ANTEPROYECTO DE
MÓDULO AGRÍCOLA INTEGRAL

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
RAFAEL VÁZQUEZ MÁRQUEZ

TUTOR (ES) PRINCIPAL(ES)
DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. **MES** 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Domínguez Mora Ramón
Secretario: Dr. Escalante Sandoval Carlos A.
Vocal: Dr. Gracia Sánchez Jesús
1^{er.} Suplente: Dr. Fuentes Mariles Oscar
2^{d.o.} Suplente: M. I. Franco Víctor

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM

TUTOR DE TESIS

DR. GRACIA SÁNCHEZ JESÚS

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	6
1.1. RETROSPECTIVAS	3
1.2. TERRITORIO.....	5
1.3. POBLACIÓN.....	7
1.4. SECTOR PRIMARIO - AGRICULTURA.....	10
1.5. PROBLEMÁTICA	11
BIBLIOGRAFÍA	19
2. ZONA DE ESTUDIO.....	3
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	26
2.2. DATOS DE DISEÑO	29
BIBLIOGRAFÍA	35
3. TRATAMIENTO DE BASURA	24
3.1. PLANTA DE COMPOSTEO	39
BIBLIOGRAFÍA	44
4. HIDROLOGÍA	39
4.1. DELIMITACIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS.....	55
4.2. INTERPOLACIÓN DE DATOS	58
4.3. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	60
4.4. DATOS DE DISEÑO.....	65
BIBLIOGRAFÍA	67
5. TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.....	48
5.1. LEGISLACIÓN EN MATERIA DEL AGUA.....	72
5.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS - LAGUNAS	73
5.3. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	75
BIBLIOGRAFÍA	82
6. DEMANDAS DE AGUA	71
6.1. ¿QUÉ SEMBRAR?.....	86
6.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	88
6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	89

6.4.	PROGRAMA DE RIEGO.....	94
	BIBLIOGRAFÍA	99
7.	INVERNADERO.....	85
7.1.	UBICACIÓN.....	103
7.2.	ESTRUCTURA.....	104
7.3.	SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	108
7.4.	SISTEMA DE RIEGO	110
	BIBLIOGRAFÍA	115
8.	PROYECTO DE RIEGO	104
8.1.	CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO	123
8.2.	PRACTICAS DE MANEJO DE SUELO	125
8.3.	SISTEMA DE RIEGO	128
	BIBLIOGRAFÍA	137
9.	PROYECTO DE DRENAJE.....	120
9.1.	TIPOS DE DRENAJE.....	141
9.2.	SISTEMA DE DRENAJE.....	142
	BIBLIOGRAFÍA	153
10.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	142
10.1.	BENEFICIOS	157
10.2.	COSTOS	157
10.3.	ÍNDICES ECONÓMICOS	157
10.4.	EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	158
	BIBLIOGRAFÍA	163
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	158

*Si cierras la puerta a los errores,
también la verdad quedará afuera.*

Rabindranath Tagore

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres, Elvira Márquez Acosta y R. Rafael Vázquez Moras, por el cariño y trabajo, para la culminación de esta importante etapa en mi vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, por la oportunidad de formar mi carrera en sus instalaciones.

A todos los Doctores de la unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, mi admiración de sus capacidades profesionales y su calidad humana. Agradezco el conocimiento que día a día me transmitieron en las aulas.

A mis amigos y compañeros de la Facultad con los cuales he tenido la fortuna de estudiar y convivir. Gracias por formar parte de este aprendizaje mutuo dentro y fuera de las aulas, por ser camaradas de batalla en los innumerables trabajos y sobre todo por ser ingenieros de notable profesionalismo.

Gracias.

Rafael Vázquez Márquez

RESUMEN

Se expone una propuesta integral para anteproyectos agrícolas, que ayude a aminorar el impacto de esta actividad y mejore las condiciones locales del campo de subsidencia mediante un módulo agrícola sustentable el cual se desarrolla con un ejemplo técnico aplicado a una zona de estudio.

Se concibe la propuesta bajo la premisa de que si se mejora de forma sustentable el campo de subsidencia en sus tierras y el uso de agua, se tiene menor necesidad de cambio de uso de suelo y se disminuye la cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento.

El capítulo 1, trata sobre los problemas en materia de recursos hídricos a los que se enfrenta el país. La demanda de agua ha crecido exponencialmente en los últimos años, ya que la población paso de 66 millones en 1980 a 112 millones en el 2010, en tan solo 30 años la población nacional creció cerca del 70%. Los modos de vivir, de producir y la contaminación en general, ponen a los acuíferos y aguas superficiales en sobreexplotación, derivando en la ruptura del equilibrio hidrológico. El mayor consumidor de agua es la agricultura con un 77% del volumen ($81 \text{ hm}^3/\text{año}$) disponible y si a esto le sumamos que las prácticas de siembra, cosecha y riego actuales son insuficientes, degradadoras e ineficientes, el problema aumenta aún más.

El capítulo 2, es una visión general de la composición de la zona en estudio y sus principales características (ubicación, población, edafología, fuentes de abastecimiento, actividades económicas, clima, hidrografía y uso de suelo). Para conocer la posibilidad de implementar el proyecto, si la zona puede mejorarse y cuanta población está involucrada en él. Se define la cantidad de residuos sólidos orgánicos que pueden aportar las comunidades para ser tratados y se estima la cantidad de aguas residuales que se producen.

El diseño y la metodología por la cual se desarrolla la planta de tratamiento de basura orgánica se muestra en el capítulo 3. El incluir este módulo de tratamiento de solidos dentro de un marco de agricultura integral apunta a resolver varias problemáticas de las comunidades y el campo, siendo las más destacadas la contaminación ambiental y el riesgo de enfermedades sanitarias; por otro lado, el uso de los productos del tratamiento de la basura orgánica apunta a la sustitución de los fertilizantes químicos por un producto orgánico más económico y no degradador.

En el capítulo 4, se elabora el estudio hidrológico de la zona, a fin de caracterizar las variables del ciclo hidrológico como son las temperaturas máximas, mínimas, promedio, la evapotranspiración y la precipitación. Mediante un análisis de regiones homogéneas se hace una interpolación de datos para tener mayor certeza de las características de la zona, se analizan y validan las muestras para mediar la variabilidad del clima, si esta zona ha sido afectada (lluvias y temperaturas) y en qué cantidad, para después pasar a analizar los eventos extremos como la sequía, ondas de calor y heladas.

En el capítulo 5 se desarrolla un sistema de lagunas para tratar el agua residual, se escoge este medio por representar un medio económico, de bajo mantenimiento y fácil operación, con beneficios en la calidad del ambiente y los ecosistemas, se liberan recursos hídricos para otros usos o para su conservación al sustituir parte de la demanda de la agricultura y se mejora la belleza del paisaje; lo que podría convertir a la zona, a largo plazo, en atractivo turístico.

En el capítulo 6, se calculan las demandas de agua para los diferentes cultivos, se hace un estudio prospectivo de mercado, donde se divisa si los cultivos a sembrar tienen mercado y a qué precio se venderán, se caracteriza el suelo a fin de saber su comportamiento, las láminas de riego que se puede aplicar (HA), la dosis de riego (DA), los límites de aprovechamiento del agua (CC y PMP) y los parámetros de diseño para simular el crecimiento de las plantas (ψ , N, γ_s , etc.), el programa de riego se revisa mediante una simulación diaria del crecimiento de los cultivos, obteniendo el número de riegos, la cantidad de riego requerida y la producción esperada bajo condiciones promedio y desfavorables.

La necesidad de mejores y más eficientes producciones agrícolas ha llevado al desarrollo de herramientas como los invernaderos, donde se controlan las variables climáticas, se optimiza el riego y se maximiza la producción, esta práctica y la concepción dentro del proyecto se aborda en el capítulo 7.

El proyecto técnico de riego y drenaje se desarrolla en el capítulo 8 y 9 respectivamente, para el capítulo 8 de acuerdo a las condiciones climáticas y topográficas se estudia cual sería el mejor método de riego a implementar, técnicamente se mejora la práctica de riego a fin de aminorar las pérdidas de agua y hace más eficiente el uso de ésta. Se abordan las prácticas de conservación de suelo que se deben tener dentro de una parcela para disminuir la degradación del suelo y mejorar las condiciones de conservación del suelo. En el capítulo 9 se acopla el proyecto de drenaje al módulo en estudio, se hace énfasis en la importancia de integrarlos dentro de todo proyecto agrícola a fin de disminuir la probabilidad de pérdida de los cultivos por inundación pero a su vez se habla del riesgo aceptable que se debe contemplar.

El capítulo 10 lleva por título evaluación económica, que es el elemento decisivo de todo proyecto, se hará un esquema básico de inversión y recuperación del capital, se medirá si es viable económicamente el proyecto, hasta qué punto es viable, cuándo podría recuperarse la inversión, qué apoyos existen para solventar estos gastos e identificar qué aspectos representan los mayores rubros de costo. Otro aspecto a considerar es la evaluación socio económica identificando los conceptos que representan una mejora dentro de la sociedad al implementar este tipo de proyecto.

OBJETIVO

Elaborar una guía técnica integral para la implementación de anteproyectos de irrigación y drenaje, aplicando las nuevas herramientas y conocimientos en hidrología, irrigación, bioquímica, hidráulica y manejo integral de los recursos hídricos.

La guía podría contribuir a la mejora del campo de subsidencia en México, donde la eficiencia en el uso del agua generalmente ronda el 30%. Con el reto de incrementar esta cifra, se propone en este trabajo, la combinación de técnicas que permitan un uso integral de los recursos disponibles para cada tipo de usuario, desde la planeación hasta la operación.

1. ANTECEDENTES

La agricultura es parte fundamental del sustento de la economía nacional y de millones de personas tanto en el ámbito industrial como para el abasto alimenticio; ante las demandas crecientes de una población en aumento, la necesidad de tierras fértiles y productivas representa una amenaza para los ecosistemas boscosos y selváticos del país, así como lo es para el ciclo hidrológico y las reservas de agua, ya que las dinámicas de cambio de uso de suelo anárquicas siguen un patrón claro, donde las partes más castigadas son las reservas ecológicas e hídricas. Al aumentar la población se tiene mayor demanda directa en los recursos primarios de agua, alimento, suelo y servicios ambientales, los cuales solo pueden satisfacer cierta demanda ya que los patrones de regeneración son lentos y ante estos cambios su manera de responder o de regenerarse se degrada.

Al incrementarse la población se tienen mayor demanda de vivienda, agua y alimento, las tierras destinadas a uso agrícola pasan a convertirse en áreas urbanas, donde las zonas de recarga son prácticamente nulas, los escurrimientos de agua aumentan, el desecho de aguas negras también se incrementa, contaminando otros cuerpos de aguas y áreas de tierra, se pierde la regulación de temperaturas y se genera más contaminación ambiental. En este cambio de uso de suelo hubo una pérdida en las tierras cultivables, pero la demanda aumento, por lo que las tierras cultivables no solo deben reponer la parte pérdida, sino que debe sumársele la parte faltante para completar la nueva y creciente demanda, teniendo solo como tierras de reserva las zonas boscosas o selváticas, por lo que se da la invasión y tala de estas zonas, el cambio de uso de suelo conlleva a un aumento en los escurrimientos superficiales, intensificación en la erosión hídrica, química, física y eólica, baja en los servicios ambientales, degradación de la recarga en los acuíferos y sobreexplotación de los acuíferos, además de un elevado riesgo de contaminación del suelo y agua por el uso de agroquímicos. Bajo esta dinámica, el agua es un recurso limitado y menospreciado, se le demanda más, por todas las variables del sistema (ecosistema, urbana, industrial, agrícola y ganadera), de lo que puede regenerarse, sobreexplotando sus reservas y a su vez degradando su regeneración y disponibilidad (contaminación de los cuerpos de agua), es evidente que esta dinámica es insostenible y por demás infructífera a mediano y largo plazo, los costos de esta dinámica sostenida no solo son económicos, también la calidad ambiental y de vida se ven gravemente mermadas. Tan solo el hecho de mejorar en las prácticas de riego, uso de suelo y costumbres de crecimiento poblacional tiene un gran impacto positivo, el conocimiento se tiene, la aplicación se puede llevar a cabo, solo falta su divulgación e implementación.

En este esquema las variables que se puede manipular directamente son el uso eficiente del recurso hídrico y suelo, enfocándose en este trabajo a la porción más representativa de las demandas de agua, la agricultura, donde las fuentes oficiales manejan que el recurso destinado a este rubro ronda entre el 70% y 85% de la demanda total de agua con eficiencias alrededor del 30% y 50%, además de que los malos manejos representan una pérdida de suelos (sobrepastoreo, suelos sódicos, erosión) que los convierte en zonas de nula utilidad económica y biológica. Al tener mejores usos del agua y suelo la productividad de las tierras mejora así como su sustentabilidad, evitando que la demanda de tierras cultivables sea mayor, igualmente la extracción de agua se ve disminuida, liberando recursos hídricos para su almacenamiento o uso en otras áreas de interés, también al tener tierras productivas la migración de gente hacia los centros urbanos o al extranjero disminuye y por añadidura la marginación y empobrecimiento de la población.

1.1. RETROSPECTIVAS

En la región llamada Mesoamérica fueron conformándose diferentes culturas, desde la Olmeca hasta la Mexica, las cuales consideraban a los dioses del Tlalocan, principalmente Tlaloc, dios del agua, como

una de las deidades básicas para su subsistencia. Este dios desempeñaba un papel fundamental en su calendario religioso, pues conocían la necesidad vital del elemento para su vida cotidiana. Con el tiempo, los asentamientos humanos fueron creciendo y haciéndose cada vez más complejos, desde tribus de cazadores hasta llegar a integrar las grandes civilizaciones, siempre vinculados con el agua.

De acuerdo a las condiciones del lugar en que vivían, se desarrollaron diferentes cultivos y, por lo tanto, diversos sistemas y técnicas de riego. Por ejemplo, en la zona habitada por los Olmecas, en el litoral del Golfo de México, la tierra sufría más por exceso de agua, que por escasez, lo que provocó que su agricultura fuera del tipo de roza. Había gran humedad en las márgenes de los ríos y pantanos, muy frecuentes en la región; el nivel de dichos ríos, al subir y bajar anualmente, permitía la irrigación natural y producía el limo, utilizado como fertilizante. En el altiplano, en cambio, la falta de humedad en el estiaje propició soluciones como las chinampas en Xochimilco, un avanzado sistema de irrigación con el que llegaron a cubrir diez mil hectáreas.

Para el aprovechamiento de dichas fuentes se construyeron redes de acequias, presas, acueductos sobre taludes, canales de tierra y piedras con estuco. El riego por acequias estaba relacionado con algunas obras de remodelación del perfil terreno, lo que puede equipararse con la creación artificial de suelos, se desarrollaron obras de gran magnitud y complejidad, con canales revestidos tallados en piedra y largos acueductos, que llegaban a unir laderas en un mismo sistema. Estos sistemas iban creciendo de acuerdo a las necesidades y el tamaño de las poblaciones.

Existían también los sistemas de riego que en forma temporal recurrían a los ríos permanentes. En este caso, las obras requeridas se hacían año tras año. Estas instalaciones se fabricaban con tierra, pasto, troncos, vara y canales de tierra. Poco antes de la llegada de los españoles a tierras mexicanas, la laguna del valle de México se encontraba dividida en varios compartimientos, formados por diques, calzadas y albarradas. Tenía como finalidad el control del flujo de las aguas en los lagos y ríos evitando así las inundaciones, además de la desolación paulatina de todo el sistema; también permitía el levantamiento de chinampas al drenar por completo la parte requerida en el momento necesario. Lo anterior permite suponer la existencia de compuertas bajo los puentes, para regular el paso del agua. Esta laguna y la de Texcoco se encontraban separadas por un par de albarradas; en la de Chalco existían dos calzadas que hacían las veces de diques, dividiéndola en dos porciones y otra más la separaba de la laguna mexicana.

En 1521 se consumó la conquista de Tenochtitlán y con ello el imperio Mexica. Bajo las nuevas condiciones, mezcla indígena y europea, continuó la lucha por el dominio del medio natural. Se mezclaron las habilidades del artífice, el trabajo y oficio del agricultor, con el arco romano y la obra de cal y canto. El mundo prehispánico se mantendría vivo: se aprovecharían las obras civiles existentes, así como la experiencia autóctona para las nuevas obras Coloniales de abastecimiento de agua, control de inundaciones y riego.

Entre los siglos XVII y XIX, se construyeron varias presas, casi todas ellas de mampostería, en el territorio de los actuales estados de Aguascalientes, Guanajuato, México y Querétaro, entre las más importantes, con propósito de riego, encontramos en Aguascalientes a las de Saucillo (1730), San Blas (1755), Natillas Segundo (1760) y Pabellón (1770); en Guanajuato, El Aguacate (1772), Loza de los Padres (1802) y en el estado de México la de Huapango (1780) y Nadó (1800).^[1] Hacia 1926, se inicia en nuestro país la construcción de presas en gran escala. La estrategia hidráulica se vio favorecida con la creación de la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), como respuesta a la urgente necesidad de

resolver la problemática alimenticia, propia de un pueblo que había sufrido guerras internas y necesitaba consolidar el reparto agrario, con apoyo en las obras de riego. En 1926 México era uno de los últimos países en materia de riego. En 1960, era el undécimo. Para 1988, con una superficie bajo riego del orden de seis millones de hectáreas, México ocupaba el sexto lugar entre 80 países registrados en la Comisión Internacional de Riego y Drenaje.

Hoy en día, México sigue ocupando el sexto lugar a nivel mundial en infraestructura hidroagrícola, al contar con 6.4 millones de hectáreas organizadas en 85 distritos de riego y 39 mil unidades de riego ^[5]. Del total del agua concesionada para uso agropecuario (59.4 mil millones m³), 67% corresponde a aguas superficiales (39.7 mil millones de m³) y 33% a aguas subterráneas (19.7 mil millones de m³). Pero sucede que la ubicación de la población y de las actividades económicas se relaciona de manera inversa con la distribución de la disponibilidad de agua. En algunas regiones, el escurrimiento superficial y los acuíferos subterráneos resultan insuficientes para apoyar los altos índices de desarrollo que requiere el país. ^[5]

El contraste más importante entre la disponibilidad de recursos hidráulicos y su utilización, se presenta en el sur y sureste del país, en la **vertiente del Golfo de México**, ya que si bien se localizan las corrientes más importantes y caudalosas, en las cuencas de los ríos Usumacinta, Grijalva y Papaloapan, la topografía accidentada, el clima extremadamente cálido, la vegetación y el suelo, han restringido la ocupación de esa parte del territorio y el desarrollo de actividades agrícolas o industriales. Por esta razón, las obras hidráulicas han sido construidas, principalmente, para la generación de energía eléctrica y el control de las avenidas, ya que el exceso y la variación estacional del escurrimiento resulta, en este caso, una limitante para el desarrollo. ^[2]

Parte importante de entender un problema es el conocimiento de su historia, la historia de la agricultura mexicana no es un tema abundante en la literatura debido, sobre todo, al poco conocimiento que se ha generado respecto a las formas de producción agrícola que han existido en el país. Además, ha contribuido la incapacidad tradicional de las ciencias sociales para estudiar los fenómenos agronómicos, así como la de las ciencias agronómicas para entender los fenómenos sociales. No fue hasta épocas recientes que la realidad se impuso a los mitos históricos y a la ideología oficial; éstos daban por muerta y liquidada a la hacienda y nos presentaban una agricultura ejidal eficiente, productiva y moderna. Ante la persistencia de las formas privadas de propiedad y el fracaso ejidal en las zonas de temporal ha obligado al Estado y a los historiadores oficiales a reconocer que la situación en la agricultura no es tan placentera como se esperaba, ni tan simple como se imaginaba la burocracia administrativa. Es por eso que conviene detenernos siquiera en los últimos años de la historia agrícola y agraria de México. Seguros de que, a través de su conocimiento, entenderemos muchos de los problemas actuales de la productividad agrícola, fenómeno que ha asustado al Estado mexicano contemporáneo y que ha servido para ver que la sociedad mexicana es como aquel gigante babilónico de Nabucodonosor, cuyos pies eran de barro a pesar de lo grandioso del cuerpo, por lo que con simple agua se podía destruir la grandeza de la estatua bíblica. Así en México, siguiendo la paradoja, la base agrícola pone en entredicho toda la estructura mexicana, de ahí que se tenga que aceptar, tarde o temprano, la vocación agraria de México en su estructura y en su dinámica. ^[7]

1.2. TERRITORIO

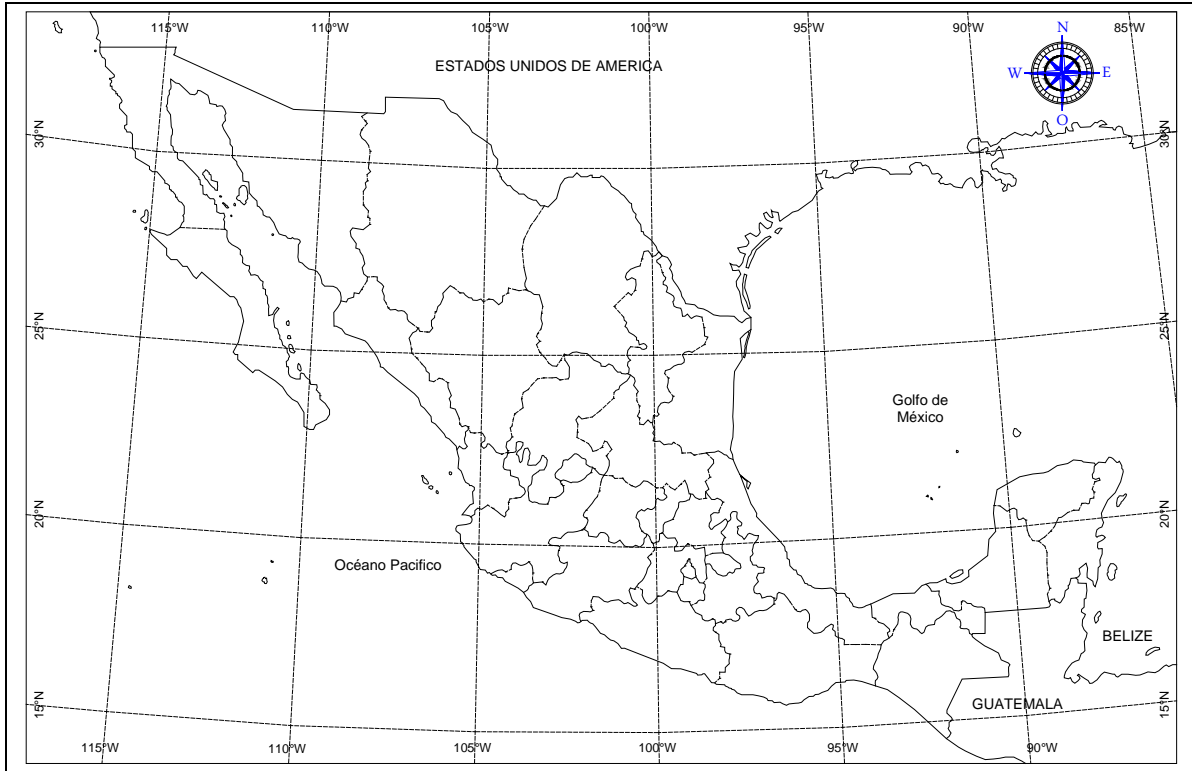


Figura 1 - República Mexicana.

La República Mexicana está situada en el continente americano, dentro del hemisferio boreal; una parte de su territorio queda en Norteamérica y el resto en Centroamérica. México forma parte de los países que, por haber sido colonizados por españoles (cuyas lenguas son romances), se agrupan colectivamente con el nombre de países latinoamericanos. Tal denominación no es muy acertada, por lo que es preferible divulgar el uso de la expresión Iberoamérica.

El territorio se extiende entre los paralelos $14^{\circ} 32' 45''$ N en la desembocadura del río Suchiate y el paralelo $32^{\circ} 43' 05''$ N que pasa por la confluencia del río Gila con el Colorado. El meridiano oriental extremo que toca al país es de $86^{\circ} 46' W$, que corresponde a la punta sur de isla Mujeres, y por lo que respecta a la parte continental es $86^{\circ} 44' N$ en la punta de Cancún. La parte continental tienen como máxima longitud la correspondiente al meridiano $117^{\circ} 19' W$ de Greenwich; pero el jirón occidental más distante está constituido por la isla Guadalupe con $118^{\circ} 20' W$.^[2]

El área territorial de México en 1822 era muy grande y su frontera sudoriental llegó hasta Colombia; se redujo al separarse Centroamérica y más aún cuando por la violencia perdió 51% de su territorio en 1848. De acuerdo con la mayor precisión de los levantamientos geográficos; hoy día se acepta como una cifra oficial la de $1,972,546 \text{ km}^2$, incluyendo las islas pertenecientes a México. De este valor, $1,967,183 \text{ km}^2$ corresponden al área continental; 718 km^2 , a las islas del Golfo y del Caribe; 2 km^2 , para las islas del centro, y $4,643 \text{ km}^2$, a las islas del Pacífico. En total $5,363 \text{ km}^2$ para el área insular. A las aguas interiores corresponde $49,512 \text{ km}^2$.^[3]

El disponer de costas en el océano Atlántico, el océano Pacífico y tener al sur el Istmo de Tehuantepec, que es el más boreal en América, da a la sección meridional de nuestro país un valor estratégico de primer orden. La posición de México es determinante como enlace físico, político y

cultural de América del Norte, Centro y Sudamérica. El fatalismo geográfico ofrece a México posibilidades brillantes que pueden convertirse en hechos tangibles, si nuestro país sigue una política racional en el aprovechamiento de sus recursos naturales.

1.3. POBLACIÓN

Desde finales del siglo XIX se dispone con censos que permiten seguir paso a paso el crecimiento de la población, así como algunas de sus características. A continuación se presenta una gráfica con los censos de población que se han llevado a efecto.

Como se puede observar en la figura 2, México ha registrado un constante y exponencial crecimiento con el paso de los años, con una sola interrupción del periodo comprendido entre 1910 y 1921, como resultado de la Revolución Mexicana; entre esos años no solo se sufrió la reducción de 826,000 habitantes, sino que también se perdió el crecimiento natural y las actividades económicas disminuyeron. De 1970 al 2010 se marca un decremento en la tasa de crecimiento anual pasando de 3.4% al 1.4%, esto responde fundamentalmente a las campañas de planificación y educación familiar que, si bien han logrado detener el acelerado incremento, aún requieren una mayor difusión para obtener los resultados esperados.^[9]

México es un país cada vez más urbano, 76.8% de su población reside en localidades de 2,500 o más habitantes. No obstante, al mismo tiempo que se intensifica el proceso de urbanización, se aprecia la dispersión de la población en un gran número de localidades menores de 2,500 habitantes. El 23.2% de la población reside en casi 189 mil pequeñas localidades distribuidas en el territorio nacional.

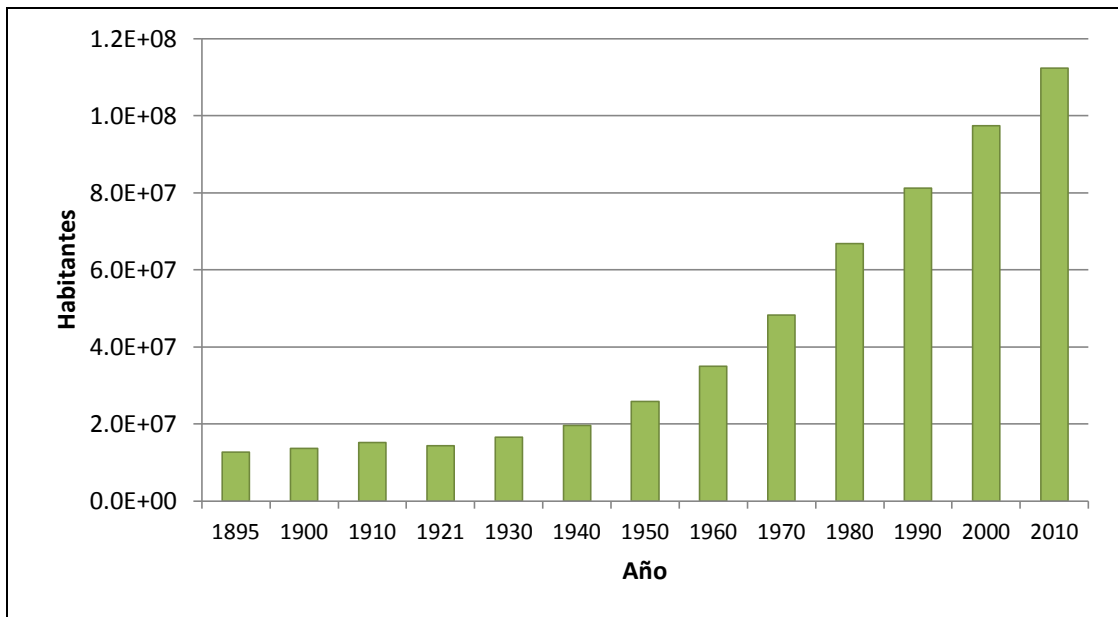


Figura 2 - Población Total Y Tasa De Crecimiento Promedio Anual.
 *INEGI, Principales Resultados Del Censo De Población Y Vivienda 2010.

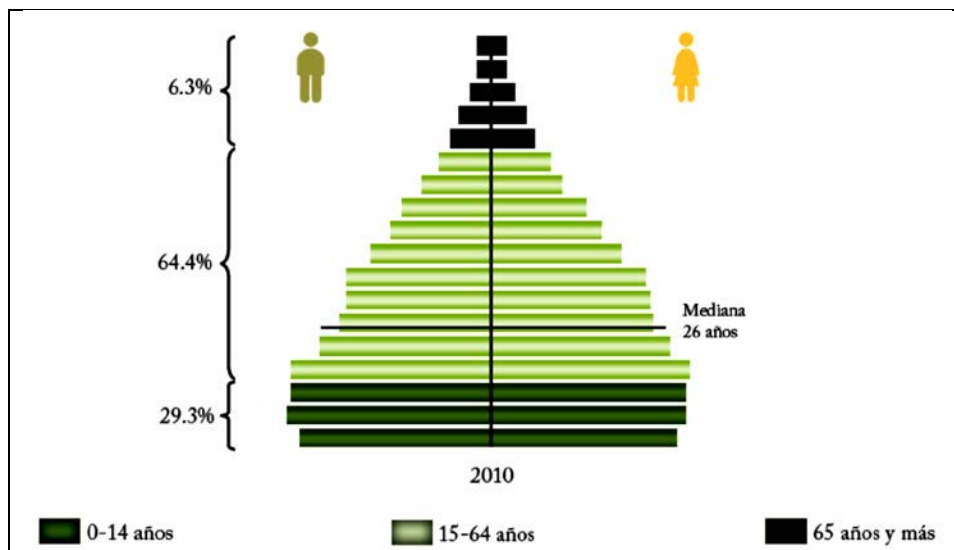


Figura 3 - Distribución De La Población Por Edades.

*INEGI, Principales Resultados Del Censo De Población Y Vivienda 2010.

La estructura por edad de la población se ha transformado y hace evidente los cambios demográficos a través del tiempo. La pirámide de población del Censo 2010 se ensancha en el centro y se reduce en la base: la proporción de niños ha disminuido y se ha incrementado la de adultos. En 2010 la población menor de 15 años representa 29.3% del total, mientras que la que se encuentra en edad laboral de 15 a 64 años, constituye 64.4%, y la población en edad avanzada representa el 6.3% de los habitantes del país. En contraste, en el año 2000 la participación de estos grandes grupos de edad era de 34.1%, 60.9% y 5.0%, respectivamente. Esta transformación en la estructura por edad muestra que el país transita por una etapa donde el volumen de la población en edades laborales alcanza su mayor peso relativo con relación a la población en edades dependientes.

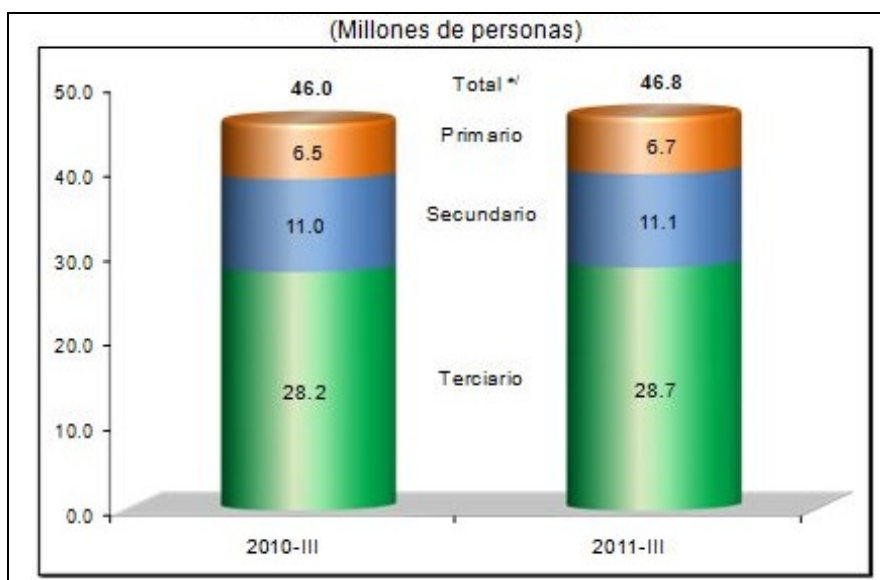


Figura 4 - Población Ocupada Según Su Sector De Actividad (3º Trimestre).

*INEGI, www.inegi.org.mx

La población mexicana continúa siendo predominantemente joven; sin embargo, tanto la disminución de la mortalidad como el descenso de la fecundidad han propiciado su envejecimiento paulatino. Ello explica que la edad mediana, es decir, la que divide a la población en dos partes iguales, en el año 2010 sea de 26 años, cuando en 2000 este indicador era de 22 y en 1990 de 19 años. En las entidades federativas, la edad mediana más alta le corresponde al Distrito Federal y la más baja a Chiapas y Guerrero. Los contrastes en este indicador se deben a que las entidades federativas atraviesan distintas etapas de transición demográfica; en algunas entidades como el Distrito Federal se constata el proceso hacia una población de mayor edad, mientras que en otras este proceso es incipiente o aún no se manifiesta.

Los censos de población y vivienda en México han incluido tradicionalmente el tema del empleo porque permite contar con un acervo histórico de información que dé cuenta de las transformaciones de la oferta laboral, explicar los grandes componentes del mercado de trabajo y las modificaciones en la actividad productiva, además de conocer la estructura de la población económicamente activa a pequeños niveles de desagregación. La tasa de participación económica de la población de 12 años y más del Censo 2000 comparada con la de 2010, permite señalar que la oferta de trabajo se ha incrementado, al pasar de 49.3% a 52.6%. La estructura por sexo no sufre grandes modificaciones en el período intercensal, se incrementa la participación tanto de los hombres como de las mujeres.

En 2010 el 31% de la población ocupada declaró un nivel de ingreso mensual que no supera los dos salarios mínimos; destaca el hecho de que 32.7% recibe más de 3 salarios, que representa un incremento de siete puntos porcentuales en la década. El 7.7% declara no recibir ingresos, porcentaje menor comparado con el del año 2000 que fue de 10.1% por lo que es de suponer que esta población, o recibe una retribución en especie o trabaja en la unidad familiar sin remuneración.^[3]

Tabla 1 - Población Ocupada Por Sector De Actividad Económica (3° Trimestre 2011).

Sector de actividad económica (3° trimestre)2011	Personas
TOTAL	853,778
Primario	187,871
Agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca	187,871
Secundario	111,408
Industria extractiva y de la electricidad	52,545
Industria manufacturera	-4,791
Construcción	63,654
Terciario	516,091
Comercio	-2,684
Restaurantes y servicios de alojamiento	124,688
Transportes, comunicaciones, correos y almacenamiento	32,053
Servicios profesionales, financieros y corporativos	198,282
Servicios sociales	-46,726
Servicios diversos	202,961
Otros	7,517
No específica	38,408

(Diferencias Absolutas Respecto Al Mismo Trimestre Del Año Anterior)

*INEGI, www.inegi.org.mx

Al considerar a la población ocupada con relación al sector económico en el que labora, 6.7 millones de personas (14.3% del total) trabajan en el sector primario, 11.1 millones (23.7%) en el secundario o industrial y 28.7 millones (61.3%) están en el terciario o de los servicios. El restante 0.7% no especificó su actividad económica. Los montos correspondientes que se presentaron en el periodo julio-septiembre de 2010, fueron de 6.5, 11 y 28.2 millones de personas, en el mismo orden.^[3]

1.4. SECTOR PRIMARIO - AGRICULTURA

La superficie destinada para el cultivo agrícola varía año con año, debido a diversas circunstancias, entre las que destacan la necesidad de dejar en descanso a las tierras, sobre todo en las regiones de agricultura de temporal, las causas meteorológicas (siniestros) y las plagas. La zona cultivable en México es muy amplia, según los datos del Banco Mundial un promedio del 15% (310,178 km²) de la totalidad del territorio está dedicado a la agricultura. En el caso de las zonas con riego, el número de hectáreas cultivadas en muchas ocasiones concuerda con las cosechas, pero siempre y cuando no se presenten siniestros. De acuerdo con la SAGARPA, en el año agrícola de 2010 se sembraron 21, 952, 745 ha (riego y temporal) y se cosecharon 20, 167, 773 ha.^[12]

Aunque la tendencia en México es que la agricultura ocupe un menor papel en cuanto al producto interno bruto (menor al 4%) y a los ingresos en general del país, sigue siendo una de las actividades principales de México al emplear a aproximadamente 10% de la población (11 millones), por la obvia razón de que la producción de alimentos es fundamental para cualquier nación. Los 10 productos que más se producen en el campo mexicano son: caña de azúcar, maíz, plátano, sorgo, naranja, trigo, jitomate, limón, chile verde y papa.^[3]

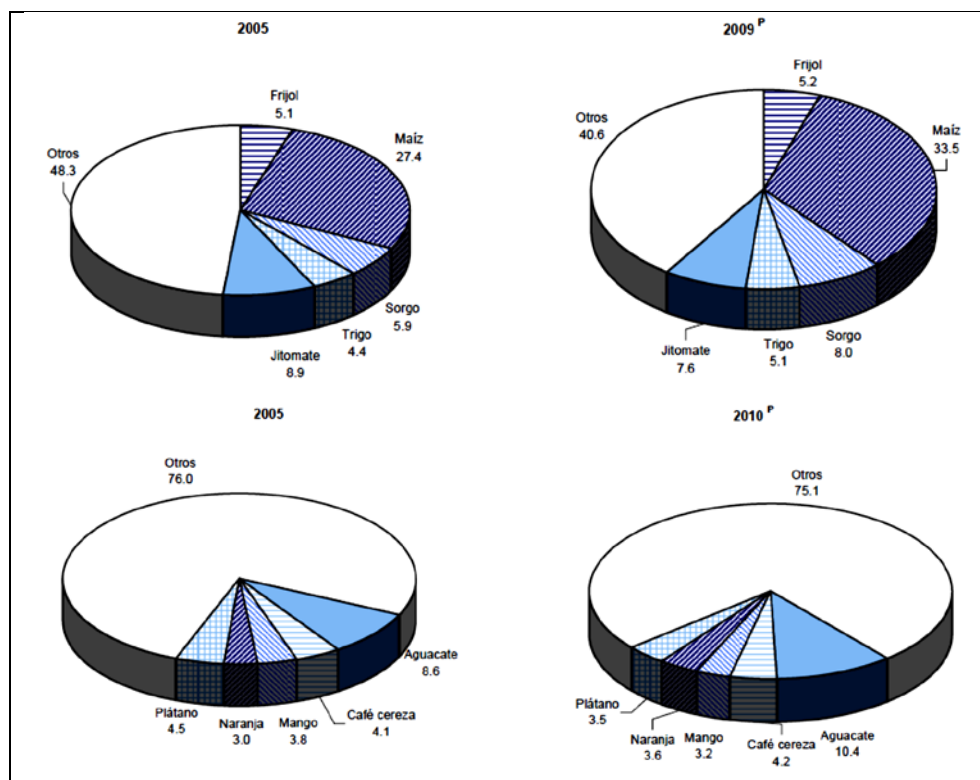


Figura 5 - Producción Agrícola Nacional, Cíclico Y Perennes (2005 - 2010).

*INEGI, El Sector Alimentario En México 2011.

Económicamente hablando, existen sólo dos tipos de agricultura en México: La de *subsistencia* y la de *grandes plantaciones*. La primera se trata de pequeños productores que usan el campo como fuente primaria de ingresos y para complementar su propia alimentación. Estos campesinos cuentan con escasa tecnología (tractores, semillas modificadas, sistemas de riego u otros) para realizar su labor. Siendo el campesino su propio empleador, no tiene mano de obra asalariada sino quizá para las épocas más fuertes, como las de la siembra y la cosecha, ya que la mayor parte del tiempo es su familia quien lo apoya.

En la agricultura llevada a cabo por las grandes plantaciones, el principal objetivo es el comercio. Aquí sí se usa una alta tecnología y se contrata personal para realizar el trabajo, mucha de esta producción se exporta al mercado internacional. Los principales productos que se manejan son: trigo, sandía, pepino, limón, pepinillos, aguacate, cebolla, maíz blanco, mango, chile, espárragos, brócoli, plátano, naranja, coliflor, algodón y café. ^[3]

Gran parte de esta agricultura se ubican en el llamado “Granero de México” (estado de Sinaloa), pues la magnificencia de sus granjas productoras lo ha hecho famoso. Es así que el gobierno federal y otros estados lo han tomado como modelo a seguir en cuanto a producción agrícola, ya que muchos productores han realizado una modernización de su maquinaria.

México cuenta con una superficie de 145 millones de ha se dedican a la actividad agropecuaria. De éstas cerca de 30 millones de hectáreas son tierras de cultivo y 115 millones son de agostadero, además, los bosques y selvas cubren 45.5 millones de hectáreas. La participación de la agricultura en el PIB nacional, es de apenas 4%, las múltiples funciones de la agricultura en el desarrollo económico, social y ambiental determinan que su incidencia en el desarrollo sea mucho mayor de lo que ese indicador implica. ^{[3][4]}

1.5. PROBLEMÁTICA

Debido a la constante presión sobre los recursos naturales e insumos de primera necesidad, como lo son los alimentos y el agua, se va haciendo necesario la aplicación de nuevas técnicas que mejoren el rendimiento, la producción y el usos sostenible de los recursos, antes de que se lleguen a puntos críticos donde no va a ser posible sostener el crecimiento poblacional; por lo que la aplicación de las tecnologías y conocimientos a las diferentes áreas será esencial para asegurar un buen futuro al país.

El campo mexicano enfrenta actualmente varios retos para continuar óptimamente su producción. Algunos de los que podemos mencionar y son de particular importancia por su impacto son:

- *Cambio en los patrones del clima y sus consecuencias.* Durante los últimos años en base al cambio de temperatura en diferentes partes del planeta y por consecuencia el aumento de intensidad en los desastres naturales (desde sequías y heladas hasta inundaciones y huracanes), mucha de la producción se ha perdido en ciertas temporadas, teniendo el Gobierno Federal que dar subsidios y/o apoyos a los productores para que continúen trabajando. Un ejemplo de esto es cuando en el año 2010 y 2011 se perdieron más de 240,000 toneladas de alimentos por causa de heladas y sequías en diferentes partes del país.
- *Gran contraste entre los estados del Norte y del Sur en cuanto a nivel industrial.* Aunque los estados del sur de nuestro país son más húmedos y adecuados para la siembra de ciertos cultivos y para una

mayor producción, no sucede tal cosa y mientras que los estados del norte carecen de esas ventajas, poseen más capacidad de compra de maquinaria y mejores técnicas de cultivo y riego. ^[1]

- *Deforestación.* Viene como consecuencia de la explotación de la madera, cambio de uso de suelo, el aumento de las zonas de cultivo, entre otras, pues cuando el área se queda sin bosques, es presa fácil de la erosión por el viento y el agua, arruinando el terreno tanto para la agricultura como para los ecosistemas.

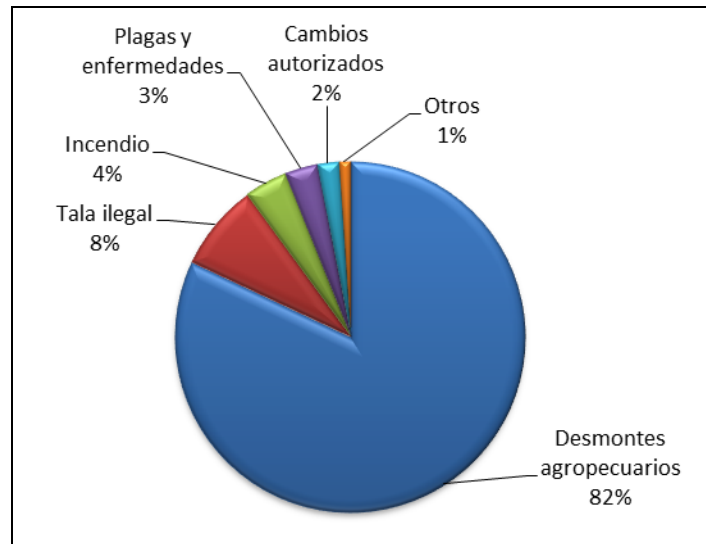


Figura 6 - Causas De Deforestación En México.
*SEMARNAT, Reforestación 2002.

México ocupa actualmente el 2º lugar en deforestación en Latinoamérica, superado solo por Brasil, la cobertura forestal se ha reducido notablemente en las últimas décadas, sin embargo, de acuerdo a los reportes presentados ante la FAO se observa una reducción en la tasa de pérdida en el último periodo, la deforestación de bosques y selvas pasó de 354 mil hectáreas por año en el periodo 1990-2000 a 155 mil hectáreas por año en el periodo 2005-2010 ^[9]. Además de la deforestación, se estima que se degradan entre 250 y 300 mil hectáreas por año. Esta disminución en las tasas de deforestación no representa la heterogeneidad en la que se presenta el fenómeno a nivel regional ya que existen zonas en el país, donde las tasas de deforestación son significativamente más altas. De la superficie total del territorio nacional poco más de 138 millones de hectáreas están cubierta por vegetación forestal (aproximadamente 67%, incluyendo vegetación de zonas áridas), de ellas aproximadamente 65 millones de hectáreas corresponde a bosques templados y selvas tropicales; los matorrales xerófilos cubren el 28% del país (56.9 millones de hectáreas) y casi el 30% restante corresponde a usos de suelo distinto al forestal, como son: agrícola, ganadero y áreas urbanas, entre otros.

Los bosques no sólo proporcionan la capacidad de capturar carbono, sino también son importantes proveedores de servicios ambientales como la regulación del ciclo del agua, protección de la biodiversidad, polinización y dispersión de semillas, mantenimiento de suelos, amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales, regulación de la calidad del aire, entre otros. Además proporcionan alimento, material de construcción, medicina y energía, entre otros bienes. En México

dan sustento de manera directa a 13 millones de personas que viven en 23 mil ejidos y comunidades indígenas, la mayoría en condiciones de alta marginación.

- *Agua.* La repartición del agua para las diferentes actividades humanas representa una gran porcentaje (77%) para el área de la agricultura, por esto es de vital importancia el mejorar su eficiencia en su uso, ya que actualmente no se aprovecha al máximo este recurso y éste abasto cada vez se ve más comprometido por el aumento en la demanda de los diferentes usuarios. Ver figura 7.

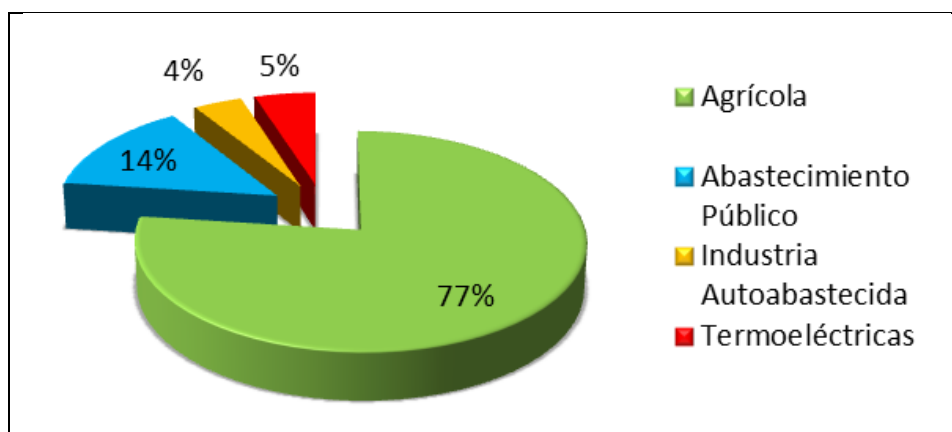


Figura 7 - Distribución De Los Usos Consuntivos En México [%] Y Km³.

*SAGARPA, Estimación De Las Demandas De Agua.

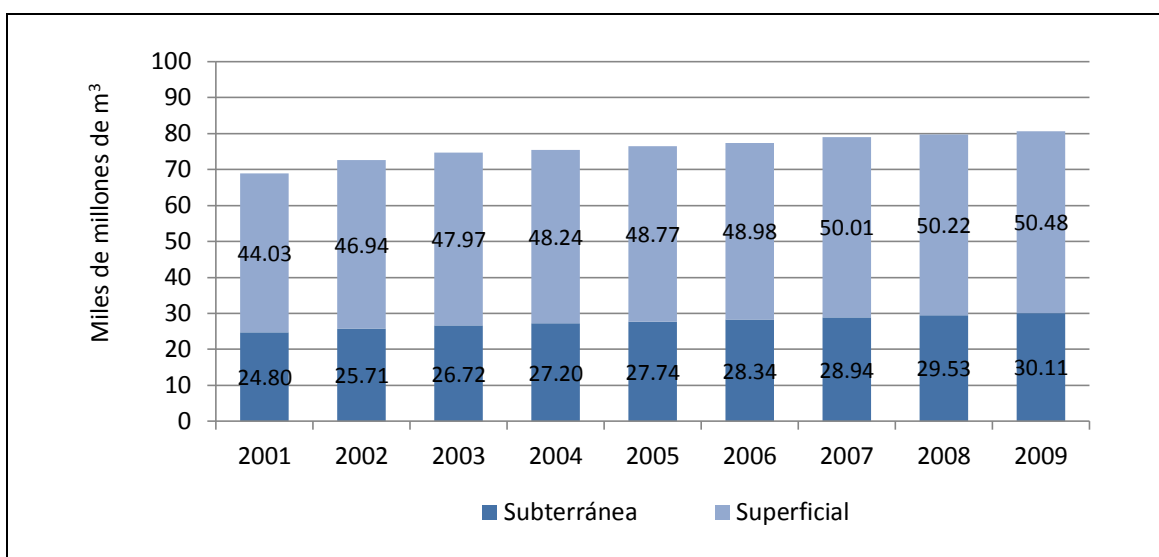


Figura 8 - Evaluación Del Volumen Concesionado Para Usos Consuntivos, Por Tipo De Fuente.

*CONAGUA, 2009.

Los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas). El 63% del agua para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), el resto de aguas subterráneas. Del total del volumen concesionado para usos agrupados consuntivos, al 2009 el 76.7% le correspondía al agrícola. ^[7] Ver figura 8 y 9.

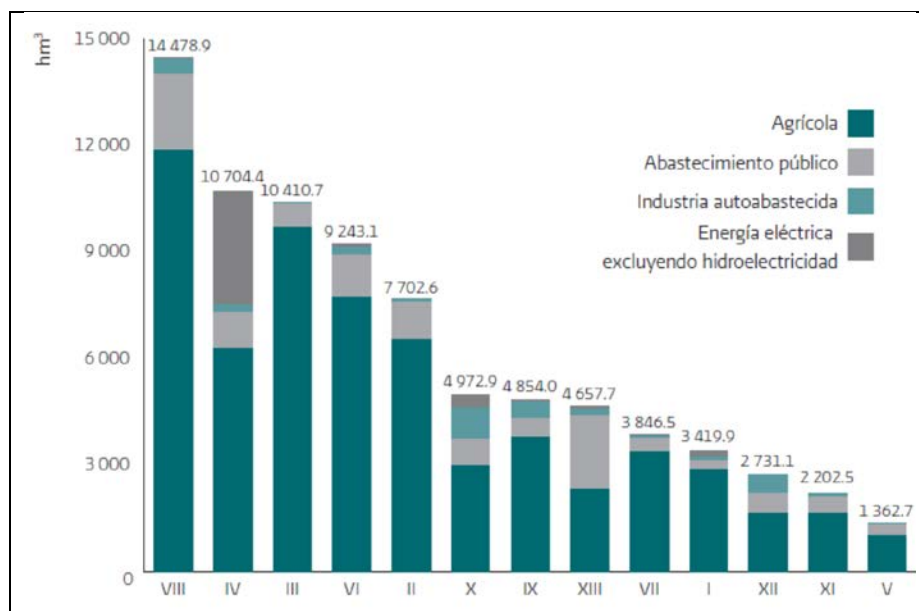


Figura 9 - Volúmenes De Agua Por Región Hidrológico-Administrativa, 2008 (Millones De m³).
*CONAGUA, 2009.

Anualmente México recibe del orden de 1,489 miles de millones de m³ de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, anualmente el país cuenta con 460 mil millones de m³ de agua dulce renovable. [7]

La sobreexplotación de los acuíferos es un grave problema que ha ido en aumento, pues en 1975 había 32 acuíferos en esta condición; 10 años después eran 80 y para el 2010 la cifra ascendió a 105. Además los mayores problemas de contaminación en el agua se presentan en el Valle de México y el Sistema Cutzamala, seguidos por la península de Baja California, a nivel nacional en el 2009 solo se llegó a una tasa de 19.3% en el tratamiento de aguas residuales no municipales. La menor disponibilidad per cápita de agua se registra en el Valle de México con 200 m³/hab/año contrastando con los 24,000 m³/hab/año en la frontera sur. [7]

- *Corrupción.* La “gran plaga” de México, afecta muchísimos sectores y áreas del país, pero en el caso de la agricultura específicamente, ha afectado la distribución de los recursos de diversos programas sociales hechos para brindar apoyo al campo. Como ejemplos tenemos a “Proárbol” y “Procampo” que aunque han aportado muchos beneficios al campo, la corrupción y la mala distribución de los recursos han hecho que tengan muy mala reputación entre los productores y los ciudadanos en general.
- *Degradación de los recursos y población.* Debido al rápido y constante aumento de la población en muchas zonas del mundo en desarrollo, particularmente en África, el Medio Oriente y partes de América Latina y a la disminución de la productividad agrícola en términos de productividad per cápita, el mundo está andando hacia una crisis alimentaria. El crecimiento demográfico, la urbanización, la distribución desigual de las tierras, la reducción de las dimensiones de las explotaciones y el constante empobrecimiento de los agricultores, han contribuido a reducir la

producción tradicional en zonas críticas. Paralelamente al crecimiento del número de seres humanos, ha ido avanzando la degradación de los recursos a escala masiva. En un momento en que se necesita producir más alimentos, la degradación de las tierras por causas de erosión o mal manejo de las tierras y el abuso de sustancias químicas ha resultado en una disminución de la producción agrícola. ^[4]

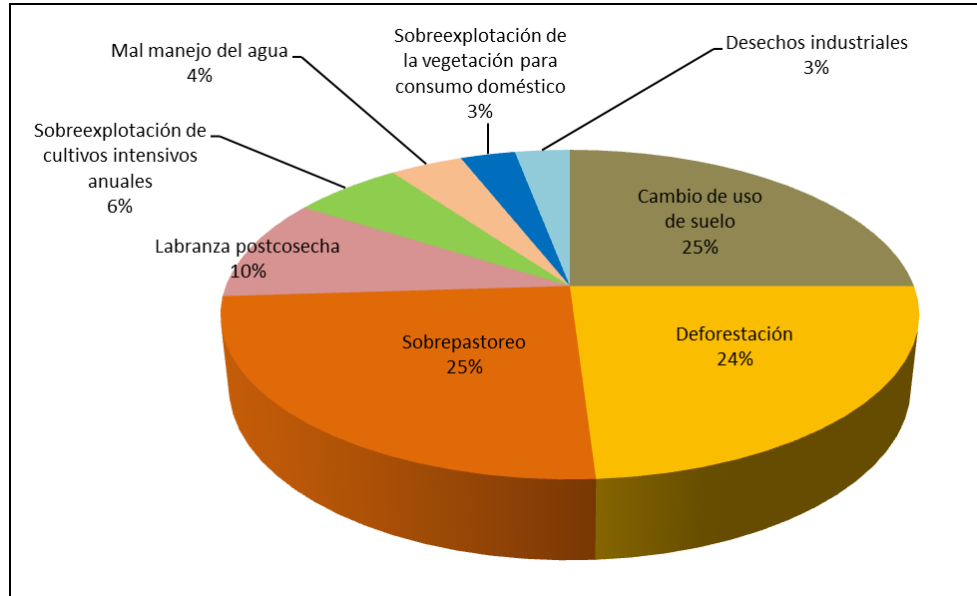


Figura 10 - Principales Causas De La Degradación De Los Suelos En México.
*SEMARNAT, Inventario Nacional De Suelos, 2002.

En la figura 10 se presentan las principales causas de degradación del suelo identificados en México por la SEMARNAT, en ella se presenta que las principales causas son antropogénicas, las más representativas son sobrepastoreo, cambio de uso de suelo y deforestación, por lo que el manejo de estos aspectos se vuelve fundamental para aminorar la degradación. La degradación del suelo es la pérdida de la productividad y utilidad como resultado de factores naturales o antrópicos, los cuales afectan sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estudios algo recientes muestran que el 45% de los suelos en México presentan problemas de degradación por la acción humana (de ligera a extrema), 29% de los terrenos son estables o sin degradación aparente y terrenos sin un uso en un 26%. ^[6] El factor más evidente de alteración en México lo representa el sobrepastoreo de ganado y la agricultura que mecaniza el laboreo de suelo (sistemas agropecuarios inapropiados), deforestación y las inadecuadas políticas públicas. ^[12]

En los próximos diez años, a la población del mundo industrializado se le adicionaran unos 56 millones de personas, mientras que la población de los países en desarrollo aumentará en más de 900 millones ^[4]. Sea cual fuere el tipo de tecnología, el nivel de consumo o desperdicio, el nivel de pobreza o desigualdad, cuantas más personas haya, mayores serán los efectos en el medio ambiente.

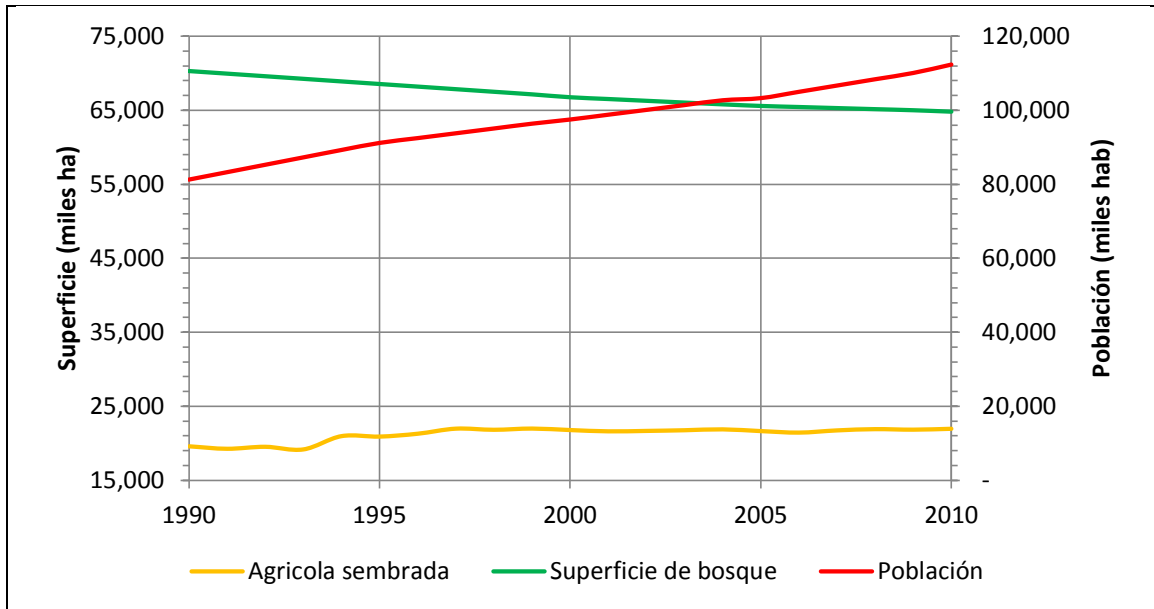


Figura 11 - Comparación Superficie Agrícola Sembrada Y De Bosques Contra La Población De México.
 *SEMARNAT, Compendio De Estadísticas Ambientales, 2012

En la figura 11 se observa la tendencia creciente de la población y la decreciente de las zonas boscosas encontrando que aproximadamente por cada 1000 habitantes le correspondían 0.87 ha de boques en 1990, pero para el 2010 por cada 1000 le correspondían solo 0.58 ha de bosque, esto nos da una imagen de lo que representa el crecimiento poblacional y el efecto magnificado por la deforestación , las zonas agrícolas también presentan una tendencia ligeramente creciente, aunque a esta área habrá que sumarle el área destinada al pastoreo del ganado para ver el efecto real, pero debido a la falta de información no se pudo realizar dicha comparación. En la figura 12 se aprecia lo fluctuante que es la producción agrícola, para la parte de consumo se toma como consumo promedio según fuentes de la FAO [13] el valor de 1.10 t/hab anual, considerando los alimentos de primera necesidad (cereales, legumbres, verduras, frutas, aceite, harina, azúcar, etc.); afortunadamente en México la producción se ha mantenido en promedio a la par del crecimiento poblacional, aunque un poco debajo de esta, esto no quiere decir que México no tenga un problema, como se ha venido mencionado la perdida de tierras cultivables, el bajo rendimiento de producción de dichas zonas y el constante aumento en la presión sobre los recursos naturales, anuncia una problemática que se hará más evidente conforme pase el tiempo; la producción es muy vulnerables a factores climáticos (sequias, inundaciones y helada) y biológicos (plagas), que ocasionan la perdida de gran cantidad de cultivos, dejando tras de sí crisis alimentarias. La necesidad de mejorar la producción, aumentar la tecnificación, la investigación y la capacitación en el campo de manera sustentable y con una visión integral donde se respeten las vocaciones de uso de suelo forestal es más que evidente para poder asegurar un futuro para el país.

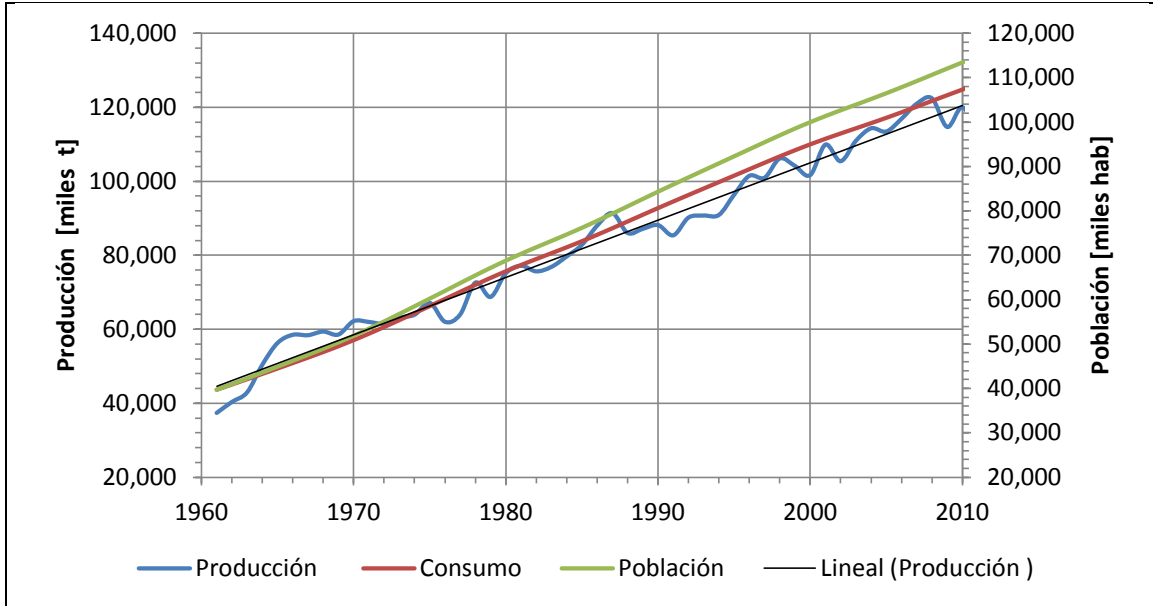


Figura 12 - Comparativas De Producción Agrícola Vs La Poblacional Y El Consumo.
*INEGI Y FAO, 2010.

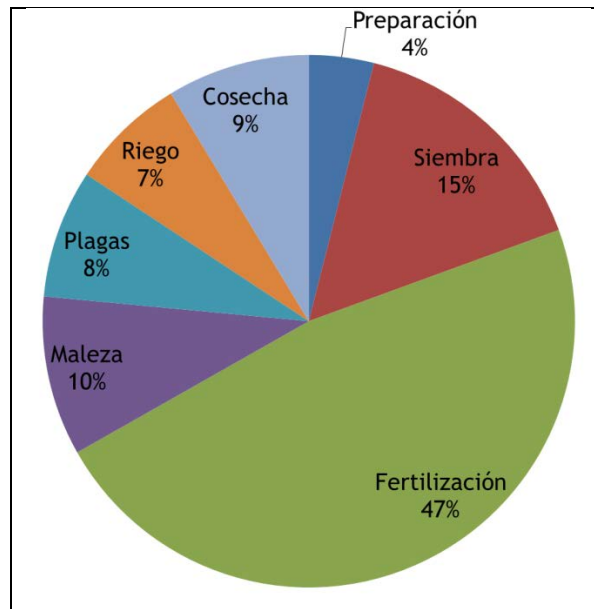


Figura 13 - Distribución Porcentual Promedio De Los Gastos En La Agricultura.
* www.Semillastodoterreno.Com

Asegurar el uso eficiente del recurso del agua en la agricultura es uno de los principales puntos a atender a fin de asegurar un suministro para todos los sectores y usuarios, sin poner en riesgo el ambiente y las reservas hídricas (sobreexplotación), otro punto importante, como se puede observar en la figura 13, tiene que ver con el gasto de inversión en una cosecha, la mayor parte se destina al rubro de la fertilización, tomando en cuenta que en el campo no se disponen de grandes recursos económicos para llevar a cabo dicha actividad, resulta de igual interés el poder optimizar el gasto en este rubro, haciendo que con una menor cantidad de inversión se lleguen a tener los mismo beneficios.

A lo largo del tiempo la constante en el campo Mexicano ha sido la falta de interés en invertir en su mejoramiento, el abandono de la mano de obra por falta de oportunidades y la falta de capacitación de la mano obrera para obtener mejores resultados; a pesar de estas dificultades el campo mexicano ha logrado sobresalir y satisfacer las necesidades que la población le demanda, pero de no empezar a tratar las problemáticas añejas con gran vigor, la problemática rebasará las soluciones plausibles, dejando al país en una gran crisis, social, económica y alimentaria, es por esto que hay que empezar a formar conciencia sobre la importancia y trascendencia de la actividad agrícola en el desarrollo del país así como su vinculación directa al uso eficiente del agua, de donde actualmente del 100% que se le suministra, solo llega a ser aprovechado aproximadamente el 40% ya que la conducción se hace por canales de tierra y la técnica de riego predominante es de surcos, ambas cuestiones presentan grandes pérdidas por evapotranspiración e infiltración. Más vale actuar con tiempo a afrontar y sufrir las consecuencias del desinterés y la falta de planeación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Edwar Seller, LAS PRESAS EN MÉXICO, México, CONAGUA, 1992.
2. Tamayo Jorge L., GEOGRAFÍA MODERNA DE MÉXICO, 12 ed, México, Trillas, 2009.
3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ANUARIO ESTADÍSTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, ed 2011, México, INEGI, 2011.
4. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), LA FAO EN MÉXICO – MAS DE 60 AÑOS DE COOPERACIÓN, México, FAO, 2011.
5. Colegio de Postgraduados, HISTORIA DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO, 1983, Chapingo, México.
6. Asunción Romero Díaz, (et al.), AVANCES EN ESTUDIOS SOBRE DESIRTIFICACIÓN, Murcia, edit.um, 2009. Pag: 511, 515, 595, 645, 681.
7. SEMARNAT, ESTADÍSTICA DEL AGUA EN MÉXICO, México, SEMARNAT, 2011.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

8. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), <http://www.siap.gob.mx>
9. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <http://www.inegi.org.mx>
10. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), <http://www.semarnat.gob.mx>, Compendio de Estadísticas Ambientales 2012.
11. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), <http://www.conafor.gob.mx>
12. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), <http://www.sagarpa.gob.mx>
13. Food and Agriculture Organization (FAO), <http://www.fao.org>
14. <http://www.semillastodoterreno.com>

2. ZONA DE ESTUDIO

Los esquemas de utilización del agua que han prevalecido por décadas han determinado desajustes y conflictos crecientes, escasez, agotamiento de acuíferos, sequías, inundaciones, deslaves, erosión hídrica, eólica, azolvamiento, salinización, hundimientos diferenciales, contaminación de suelos y cuerpos de agua, degradación de hábitats acuáticas entre otros procesos que amenazan a la salud humana y los ecosistemas. El problema del agua en México presenta múltiples dimensiones y los indicadores de cantidad y calidad del agua permiten calibrar el alcance de la crisis. En este marco se necesita adoptar nuevos enfoques y paradigmas, nuevas políticas públicas y una nueva institucionalidad.

Un estudio de anteproyecto de riego y drenaje agrícola debe tener como principales ejes: una planeación hidrológica, hacer un uso eficiente del agua en la zona agrícola; un diseño hidráulico de riego y drenaje que sean económicos, eficientes y seguros; además de una mejora en las condiciones fisicoquímicas del suelo y hacer una prospectiva de mercado.

En este trabajo, con la idea de formar una guía técnica, se promueve la elaboración de anteproyectos de agricultura orgánica integral, donde el objetivo es conseguir una mayor eficiencia en el uso de los recursos y una mayor producción, su alcance es transformar el campo de subsistencia en algo más que tierras de autoabastecimiento o abandono y que estas entidades productoras se conviertan en aportadoras de recursos económicos y sociales, sin las graves consecuencias ambientales y de empobrecimiento que la practica actual representa. Se propone una guía de estudio hidrológico, una forma de disminución de consumo del agua, un mejoramiento del suelo de forma orgánica y la obtención de una producción optima, todo esto con el menor costo de producción posible. Este estudio divide la zona agrícola en 4 partes, dos de ellas autónomas de la zona de cultivo; *la primera* es una zona donde se procesa la basura orgánica proveniente de las localidades aledañas para formar composta mediante la técnica más favorable, por ejemplo el humos de la lombriz compostera, con esto se logra un ahorro en la compra de fertilizantes y abonos para el cultivo, además se mejora la calidad química del suelo y se le da una utilidad a los residuos sólidos orgánicos, mejorando las condiciones de salubridad en las localidades y disminuyendo la problemática social de la basura; *la segunda* es una zona de tratamiento de aguas negras de las mismas localidades (con un tratado básico previo), que apoye e incluso sustituya (áreas de cultivo pequeñas o invernaderos) la extracción de agua para riego, para tener un menor impacto en las demandas de agua, además de disminuir la contaminación de cuerpos de agua superficial y subsuperficial para ello se pueden hacer uso de los métodos de laguna tratamiento, humedales de flujo a superficie libre, etc., se mencionan estos métodos por ser los de menor costo de operación y de inversión; *la tercer* zona se compone de un invernadero, donde se utilicen las nuevas tecnologías de riego y producción, se pretende que esta zona cultive todo el año con lo cual el productor obtiene ingresos todo el año favoreciendo su economía, generando empleos permanentes y aportando productos al mercado de buena calidad; *la cuarta* zona es donde estarán los cultivos de temporal, en está de acuerdo al cultivo, la climatología y la topografía, se propondrán diferentes riegos y sus respectivos drenajes que se adapten mejor a las condiciones de la localidad.

Para la elaboración del anteproyecto de agricultura orgánica se tienen como primer paso un estudio de la zona, esto es importante porque nos determinará las condiciones en que se va a sembrar, condiciones tanto climáticas, como de terreno, esto nos dirá que técnicas de riego y drenaje adoptar, además de saber cuánta aportación de residuos y aguas negras se estima tener de las localidades vecinas; el siguiente paso contendrá un estudio hidrológico y la simulación de los cultivos, el estudio hidrológico nos dirá cuanta aportación de agua en forma de precipitación esperamos obtener durante la época de siembra así como la caracterización del clima y con esto podremos elaborar una mejor simulación del

cultivo y la planeación de su respectivo programa de riego, tanto para condiciones favorables, como desfavorables. Otra de las etapas del anteproyecto constara del diseño de la red de riego y de drenaje, atendiendo a las necesidades de cada sector y cultivo; por último se determinará la factibilidad del proyecto, ¿es viable la propuesta o hasta qué punto es viable?, ¿qué se propone para que sea viable?

La metodología para elaborar el anteproyecto se presenta a continuación en los diferentes capítulos que conforman este trabajo ejemplificándolos a una zona de estudio.

Antes de empezar con la metodología cabe aclarar algunos aspectos, la agricultura orgánica se define como un sistema de producción que utiliza insumos naturales y prácticas especiales como son: aplicación de compostas y de abonos verdes, control biológico, asociación y rotación de cultivos, uso de repelentes y funguicidas a partir de plantas y minerales, entre otras. A cambio, prohíbe el uso de pesticidas y fertilizantes de síntesis química. Esta forma de producción incluye el mejoramiento de los recursos naturales y de las condiciones de vida de quienes llevan a cabo estas prácticas. En otras palabras “orgánico” se refiere al proceso de producción. La agricultura orgánica es más conocida como método agrícola en el que no se utilizan fertilizantes ni plaguicidas sintéticos. Pero en esa descripción no se menciona la esencia de esta forma de agricultura, que consiste en la gestión holística del sistema agrícola. Esto se realiza utilizando, en lo posible, métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en lugar de materiales sintéticos, para desempeñar cualquier función específica dentro del sistema.^[1]

La degradación ambiental es el conjunto de procesos que deterioran o impiden la utilización de un determinado recurso, como agua, el suelo fértil, el aire puro, etc.

Aunque algunos recursos se denominan renovables, estas cualidades son potenciales o teóricas, ya que a causa de la degradación a la que están expuestos, estos son consumidos a una velocidad mayor a la que la naturaleza puede reponerlos. Este deterioro en los recursos se convierte en una importante fuente que incrementa la pobreza mundial, sobre todo en áreas rurales cuyo sustento depende directamente del medio geográfico en el que viven. Los procesos de degradación ambiental pueden ser estrictamente naturales y por la acción del hombre (antropogénico). Estos últimos tienen una mayor repercusión ecológica, económica y social.

Los servicios ambientales son aquellos beneficios de interés social que se generan o derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes tales como las regulación climática, conservación del ciclo hidrológico, control de la erosión, control de las inundaciones, recarga de acuíferos, mantenimiento de escurrimientos en calidad y cantidad, formación de suelos, captura de carbono, purificación de cuerpos de aguas, así como la conservación y protección de la biodiversidad. Para la aplicación de este concepto se consideran primordialmente los recursos hídricos y sus vínculos con los forestales.^[2]

La gestión integrada de los recursos hídricos, son proyectos con resultado de un proceso que considera todos los usos del agua, incluido el medio ambiente y el conflicto entre los usuarios y los usos son resueltos mediante una mayor oferta, pero también mediante una innovación institucional y el manejo de la demanda. Las decisiones son tomadas dentro de la cuenca y existe una gran participación social en la solución de los problemas.^[2]

En nuestro país la producción de productos orgánicos se rige por la Norma Oficial Mexicana *NOM-037 -Fito-1995/1997* publicada el 23 de abril de 1997 por la SAGARPA, en la que se establecen las

especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos, también existe la *NOM-EM-034-FITO-2000*, que contiene los requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas.^[6]

La normatividad de la agricultura orgánica comprende el establecimiento de estándares para la producción y el procesamiento de los productos orgánicos, así como los instrumentos que posibilitan el cumplimiento de los sistemas de regulación. En estas se definen, entre otros, a los fertilizantes orgánicos como productos de origen vegetal o animal que por efecto de la descomposición microbiana e incorporación al suelo, suministran elementos útiles para el crecimiento de las plantas.

En relación a la Fertilización se menciona que hay que tratar el estiércol, lodos residuales y otros fertilizantes orgánicos con procedimientos como composteo, pasteurización, secado por calor, radiación ultravioleta, digestión alcalina o combinación de éstos y constatar mediante pruebas de laboratorio, que el sustrato no excede la cantidad de metales pesados, bacterias coliformes fecales y huevos de helminto.

Almacenar y tratar los fertilizantes orgánicos en lugares alejados a las áreas de producción de frutas y hortalizas frescas y en condiciones que eviten la contaminación cruzada por escurrimiento o lixiviación.

Tabla 2 - Límite Máximo De Metales Pesados En Suelo.

CONTAMINANTE	kg/ha (peso seco)
ARSÉNICO	41
CADMIO	39
CROMO	3000
COBRE	1500
PLOMO	300
MERCURIO	17
NÍQUEL	420
ZINC	2800

*PROY-NOM-005-ECOL-2000.

Tabla 3 - Límite Máximo De Coliformes Fecales En Suelo.

CONTAMINANTE	NMP/gr (suelo seco)
COLIFORMES FECALES	< 1000
HUEVOS DE HELMINTO	< 10

*PROY-NOM-005-ECOL-2000.

Tabla 4 - Límite Máximo De Huevos De Helminto En Suelo.

CONTAMINANTE	LÍMITE (base seca)
COLIFORMES FECALES	< 1000 NMP/gr
SALMONELLA	< 3 NMP/gr
HUEVOS DE HELMINTO	< 10 HUEVOS/gr

*PROY-NOM-005-ECOL-2000.

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

Se analizará la información disponible del área de interés, información como el tipo de suelo, uso del suelo, condiciones actuales de la zona, tipos de cultivo sembrados frecuentemente, aspectos económicos de la localidad, condiciones climáticas, fuentes de abastecimiento de agua, fuentes de información como son las estaciones climatológicas, estaciones hidrométricas y estadísticas de las localidades que pudieran aportar residuos.

La zona de estudio propuesta se localiza en el estado de México, en el **municipio de Temascalapa**, entre las localidades *Ixtlahuaca de Cuauhtémoc* y *San Bartolomé Actopan*, en vecindad con el estado de Hidalgo y el municipio de *Villa de Tezontepec*, localidad de Tezontepec (Cab.), en lo particular en las coordenadas de latitud 19° 52' 53.47" N y longitud 98° 51' 40.37" O, a una elevación de 2,328 msnm, en una zona de uso de suelo agrícola – pecuaria ^[10], en la región hidrográfica del Pánuco, cuenca RH26Dt (R. Moctezuma – R. Tezontepec), la cuenca drena al Lago de Texcoco y a la laguna de Zumpango ^[9] y cuenta con un área de 100 ha; a continuación se presenta una semblanza de las características del para conocer el entorno:

- **Estado de México** ^[10]

Región: V. Ecatepec

Municipio: Temascalapa

Cabecera Municipal: Temascalapa

Clave geoestadística: 15084

Superficie: 168.26 km²

Localización: longitud 98°48'04" O, latitud 19°43'35" N

Altitud: 2 350 msnm

Temperatura media: 14 °C

Precipitación media anual: 500 mm

Población: 34, 582 (2007)

Índice de desarrollo humano: Medio Alto

Características

- Orografía

Los terrenos del municipio se encuentran en una loma pedregosa, cuya forma es un polígono irregular inclinado, al noroeste del municipio se encuentran pequeños lomeríos o promontorios que rodean la cabecera municipal, cuyo punto más alto es el Cerro Gordo ubicado a 3,046 metros sobre el nivel del mar. En el municipio existen una serie de pequeños lomeríos y dos o tres promontorios que no alcanzan la categoría de cerros, entre los que destacan: Tepehuizco, Tepeyahualco, Dolores, Chiapa, La Provincia, Huaquechula, Buenavista, Tezquime, Ahuatepec, La Soledad y el cerro de Paulaentre otros.

- Hidrografía

Temascalapa carece de recursos acuíferos, no existe un río de cauce constante, solamente algunos de temporal, entre los que destacan: El Papalote y Las Avenidas. Así mismo, pueden citarse los

pequeños ríos que se forman en las barrancas, a saber: Tecualtitolco, Tepuazquiazco, La Lobera y El Capulín, los cuales nacen en el Cerro Gordo y circundan los poblados.

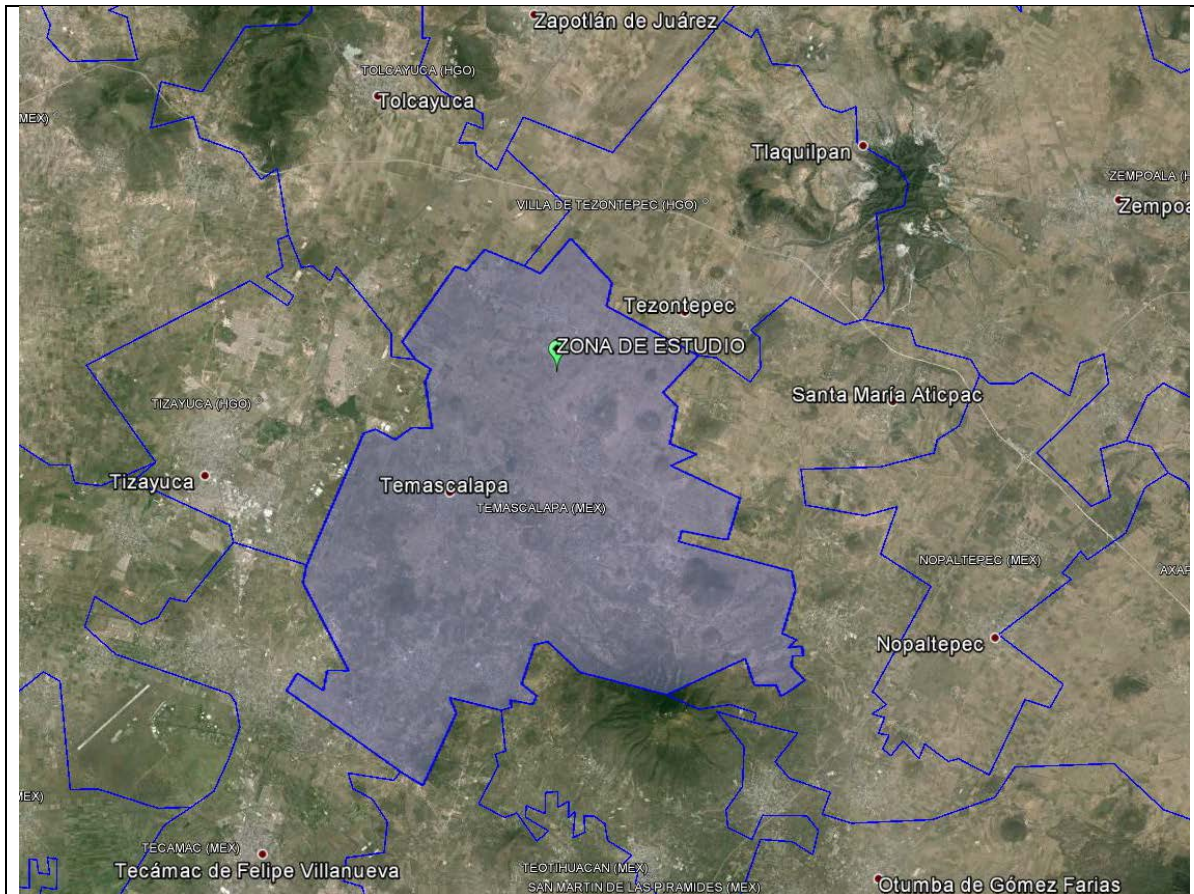


Figura 14 - Ubicación Municipio De La Zona De Estudio.
* INEGI-2012.

o **Clima**

El municipio por estar ubicado entre 2,240 y 2,650 metros sobre el nivel del mar, goza de un clima templado semiseco, con lluvias en verano y precipitaciones invernales entre 5 y 10%. La precipitación media anual registrada en los últimos años es de 500 a 648.3 milímetros, el rango térmico tiene un valor entre 14 y 18° C.

o **Principales Ecosistemas**

La vegetación de la zona está formada por matorrales y una gran variedad de cactáceas y árboles, entre los que se pueden citar: pino, alcanfor, pirú, mezquite, frenos, truenos, casuarina, jacaranda, eucalipto, huizache. Las cactáceas que predominan en la región son nopales, cardonal, tetechera, órgano, biznaga, maguey, abrojo, etc. Entre las hierbas y verduras se haya el haba, frijol, quelites, nopales calabacitas, trigo, hindagan o hierba de venado. De la misma manera es posible encontrar una extensa variedad de plantas medicinales: poleo, maguey de sábila, diente de león, gordolobo, epazote zorrillo, sopacle, hierba del cáncer, té de monte, trébol, Santa María, ajonjolillo, salvia, estafiate, malva, árnica, manzanilla, ajenjo, ruda, mejorana, etc.

En la región predominan dos plantas muy importantes que son el nopal y el maguey. **Entre las plantas que se cultivan está el maíz, haba, cebada, frijol, trigo, chícharos, calabazas, entre otras. Asimismo, existen un sinnúmero de plantas de ornato.**

La fauna de Temascalapa es relativamente abundante y está comprendida entre la fauna representativa del Valle de México. Las especies más representativas son: arácnidos como alacranes, tarántulas, arañas rojas, reptiles como el camaleón, lagartija, escorpión, cencuate, culebra, trucha, aves, tórtola, aguililla, gavilancillo, cenzone, calandria, golondrina, verdugo, chupamirto (colibrí), correcaminos, huitlacoche, lechuza, coquita, pecho rojo, choya, tecolote, entre otros. Se encuentran esporádicamente algunos animales silvestres, la mayoría de ellos en peligro de extinción por la caza inmoderada.

o Recursos Naturales

La riqueza natural más sobresaliente en el municipio está conformada, fundamentalmente, por la existencia de brecha compactada con barro, cascajo y tepetate, así como la existencia del Cerro Gordo, que guarda parte primordial de la reserva ecológica de todo el municipio.

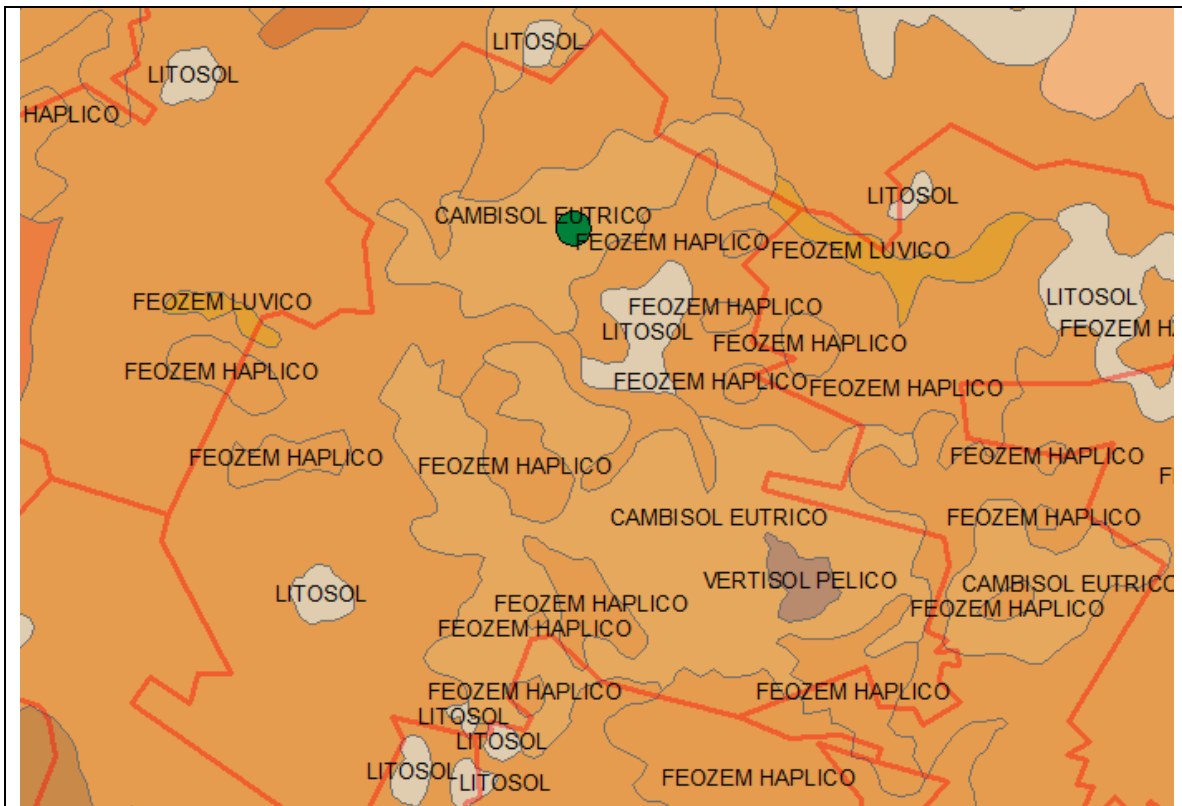


Figura 15 - Zonas Edafológicas.

*INEGI – CONABIO

o Clasificación y uso del suelo

El municipio pertenece a la provincia geológica del eje neovolcánico que cubre el total de la superficie, el cual está caracterizado por rocas volcánicas cenozoicas, de los períodos terciario y cuaternario, y por rocas ígneas de composición basáltica, así como por depósitos lacustres y aluviales.

Los tipos de suelos localizados en el municipio son: feozem-háplico de textura media, colores cafés pálido y oscuro, y negro, permeabilidad moderada y buen drenaje interno; y el tepetate, el cual se llega a encontrar a 80 centímetros de profundidad.

El 73.05% del territorio municipal es agrícola, 14.28 % pecuario, 11.4 % forestal, 5.21 % urbano, 4.43% se encuentra erosionado, 0.21% lo conforman cuerpos de agua y 4.27% está destinado a otros usos.

Hondando más en las características de los suelos se hace uso de la información disponible en las cartas edafológicas del INEGI, que nos pueden dar una idea más clara del tipo de suelo presente, en la figura 15 se pueden observar los tipos de suelo que conforman la región de estudio y su descripción se puede consultar más adelante. Los suelos observados son:

- *Cambiosol*: Del latín cambiare: cambiar. Literalmente, suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. También pertenecen a esta unidad algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate. Son muy abundantes, se destinan a muchos usos y sus rendimientos son variables pues dependen del clima donde se encuentre el suelo. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión. Su símbolo es (B).
- *Cambisol Eútrico*. Cambisol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes. Son suelos permeables.

2.2. DATOS DE DISEÑO

Localidades de influencia: **San Bartolo Actopan** (150840011), **Ixtlahuaca de Cuauhtémoc** (150840004), **Tezontepec Cab.** (130660001).^[8]

Área de estudio: **100 ha**

Potencial cultivos: **trigo, avena, papa, calabaza, maíz, jitomate (invernadero)**

Para empezar el anteproyecto, se fija el periodo de diseño el cual debe ser menor al tiempo de vida útil de la obra a proyectar, la vida útil de una obra nos representa el tiempo que se espera que la obra sirva a los propósitos de diseño, sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados que hagan antieconómico su uso o que requiera ser eliminada por insuficiente. Este período está determinado por la duración misma de los materiales de los que estén hechos los componentes, por lo que es de esperar que este lapso sea mayor que el período de diseño. Otros factores que determinan la vida útil de las obras, si es el caso, son la calidad del agua a manejar y la operación y mantenimiento del sistema.

Se deben tomar en cuenta todos los factores, características y posibles riesgos de cada proyecto en particular, para establecer adecuadamente el período de vida útil de cada una de las partes del sistema.

La vida útil de las obras depende de los siguientes factores:

Calidad de la construcción y de los materiales utilizados; calidad de los equipos; diseño del sistema; calidad del agua y operación y mantenimiento.

En la selección de la vida útil, es conveniente considerar que generalmente la obra civil tiene una duración superior a la obra electromecánica y de control. Asimismo, las tuberías tienen una vida útil mayor que los equipos, pero no tienen la flexibilidad de éstos, puesto que se encuentran enterradas. Tampoco hay que olvidar que la operación y mantenimiento es preponderante en la duración de los elementos, por lo que la vida útil dependerá de la adecuada aplicación de los programas preventivos correspondientes.

En la tabla 5 se indica la vida útil de algunos elementos de un sistema de agua potable y saneamiento, considerando una buena operación, mantenimiento y suelos no agresivos. Los períodos de diseño de las obras y acciones necesarias, para la planificación del desarrollo de los sistemas, se determinan por un lado, tomando en cuenta que éste es siempre menor que la vida útil de los elementos del sistema; y por otro, considerando que se tendrá que establecer un plan de mantenimiento o sustitución de algún elemento, antes que pensar en la ampliación, mejoramiento o sustitución de todo el sistema. Los elementos de un sistema se proyectan con una capacidad prevista hasta el período de diseño, rebasado esté, la obra continuará funcionando con una eficiencia cada vez menor, hasta agotar su vida útil.

Tabla 5 - Vida Útil (Sistemas De Agua Potable Y Saneamiento).

ELEMENTO	VIDA ÚTIL (años)	ELEMENTO	VIDA ÚTIL (años)
Pozo:		Tanque:	
a) Obra civil	10 - 30	a) Elevado	20
b) Equipo electromecánico	8 - 20	b) Superficial	40
Línea de conducción:	20 - 40	Red de distribución primaria	20 - 40
Planta potabilizadora:		Red de distribución secundaria	15 - 30
a) Obra civil	40	Red de atarjeas	15 - 30
b) Equipo electromecánico	15 - 20	Colector y emisor	20 - 40
Estación de bombeo:		Planta de tratamiento	
a) Obra civil	40	a) Obra civil	40
b) Equipo electromecánico	8 - 20	b) Equipo electromecánico	15 - 20

*MAPAS – Datos Básicos

Nota: La vida útil del equipo electromecánico, presenta variaciones muy considerables, principalmente en las partes mecánicas, como son cuerpos de tazones, impulsores, columnas, flechas, portachumaceras y estoperos; la cual se ve disminuida notablemente debido a la calidad del agua (contenido de hierro y manganeso) y a las condiciones de operación como son la velocidad de la bomba, su distribución geométrica en las plantas de bombeo y paros y arranques frecuentes.

Para definir el período de diseño de una obra o proyecto se recomienda el siguiente procedimiento ^[4]:

- Hacer un listado de todas las estructuras, equipos y accesorios más relevantes dentro del funcionamiento y operación del proyecto.
- Con base en la lista anterior, determinar la vida útil de cada elemento del proyecto, según la tabla 5.
- Definir el período de diseño de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 6 y a la consulta del estudio de factibilidad, que se haya elaborado en la localidad.

Tabla 6 - Periodos De Diseño (Sistemas De Agua Potable Y Saneamiento).

ELEMENTO	PERIODO DE DISEÑO (años)	ELEMENTO	PERIODO DE DISEÑO (años)
Fuente:		Tanque	5 - 20
Pozo	5	Distribución primaria	5 -20
Embalse (presa)	< 50	Distribución secundaria	a saturación (**)
Línea de conducción	5 - 20	Red de atarjeas	a saturación (**)
Planta potabilizadora	5 - 10	Colector y emisor	5 - 20
Estación de bombeo	5 - 10	Planta de tratamiento	5 - 10

*MAPAS – Datos básicos.

(**)Distribución secundaria y red de atarjeas, por condiciones de construcción difícilmente se podrá diferir la inversión.

Para el caso de proyectos agrícolas, el periodo de diseño de las obras de drenaje se define de una forma diferente, la cual se explicara con detalle en los capítulos subsecuentes. Siguiendo los lineamientos anteriores se obtiene el periodo de diseño del proyecto haciendo un listado de las estructuras y equipos más relevantes del anteproyecto con su respectiva vida útil obtenida de la tabla 5.

Tabla 7 - Principales Obras Del Anteproyecto (Vida Útil).

ELEMENTO	VIDA ÚTIL
Línea de conducción primaria (localidad - planta de tratamiento)	20 - 40
Planta de tratamiento	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	15 -20
Planta de bombeo	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	8 - 20
Línea de distribución primaria (planta de tratamiento - zona agrícola)	20 - 40

*MAPAS – Datos básicos.

El menor tiempo de vida útil está dado por el equipo de bombeo utilizado para llevar el agua tratada a la zona agrícola, este valor corresponde a 8 años, el periodo de diseño debe ser menor al tiempo de vida útil, con esto y en base a la tabla 6 se decide que el periodo de diseño del anteproyecto se fije en **5 años**, siendo el valor mínimo recomendado para las obras consideradas.

Tabla 8 - Evolución De La Población En Las Localidades.

San Bartolo Actopan			Ixtlahuaca de Cuauhtémoc			Tezontepec (Cab.)		
Censo	Población	Tasa crecimiento	Censo	Población	Tasa crecimiento	Censo	Población	Tasa crecimiento
Año	Hab.		Año	Hab.		Año	Hab.	
1900	825	-	1900	1210	-	1900	1752	-
1910	1022	2.16%	1910	1263	0.43%	1910	1885	0.73%
1921	1141	1.01%	1921	1301	0.27%	1921	2193	1.39%
1930	1046	-0.96%	1930	1107	-1.78%	1930	2265	0.36%
1940	1293	2.14%	1940	1398	2.36%	1940	2071	-0.89%

San Bartolo Actopan			Ixtlahuaca de Cuauhtémoc			Tezontepec (Cab.)		
Censo	Población	Tasa crecimiento	Censo	Población	Tasa crecimiento	Censo	Población	Tasa crecimiento
Año	Hab.		Año	Hab.		Año	Hab.	
1950	1261	-0.25%	1950	1333	-0.47%	1950	2117	0.22%
1960	1179	-0.67%	1960	1522	1.33%	1960	2384	1.19%
1970	1240	0.51%	1970	1580	0.37%	1970	2762	1.48%
1980	1129	-0.93%	1980	2549	4.90%	1980	3540	2.51%
1990	2427	7.95%	1990	2580	0.12%	1990	4430	2.27%
1995	2642	1.71%	1995	2942	2.66%	1995	4884	1.97%
2000	3370	4.99%	2000	3157	1.42%	2000	5094	0.85%
2005	3760	2.21%	2005	3181	0.15%	2005	5996	3.31%
2010	3992	1.20%	2010	3560	2.28%	2010	5263	-2.57%
2015	4067	0.37%	2015	3823	1.44%	2015	5226	-0.14%
2020	4110	0.21%	2020	4072	1.27%	2020	5215	-0.04%
2019	4104		2019	4023		2019	5219	

*INEGI – CONAPO

Con la base de datos de **SEGOB – CONAPO** ^[12] se obtienen los datos oficiales de proyección de la población por comunidades, del tamaño de la población se pueden obtener los estimados de aportación del caudal de agua negra y la cantidad de basura producida. Como el periodo de diseño es de 5 años el horizonte de proyección será para 2019 (2014 – 2019).

Los valores en rojo de la Tabla 8 indican que los datos son extraídos de las proyecciones de la CONAPO, para el **2019** las poblaciones en cada comunidad son de: **San Bartolo Actopan 6,292 hab**; **Ixtlahuaca de Cuauhtémoc 3,770 hab** y **Tezontepec 8,004 hab**, al sumar estas poblaciones contamos con un **total de 13,346 hab** aportadores de aguas residuales y basura orgánica.

Según las recomendaciones de la CONAGUA en su publicación *MAPAS – Datos básico*, la dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual para comunidades (clase popular, clima semicálido a templado), el valor típico es de *150 l/hab/día*, otra estimación que se hace bajo estas recomendaciones es considerar como aportación de aguas residuales el 75% de la dotación: El **aporte de aguas negras será de 112.50 l/hab/día** que al multiplicar por el número de habitantes (13,346) y dividir entre mil tenemos un **gasto residual de 1,501.43 m³/día**.



Figura 16 - Zona De Estudio.
* Google Earth®

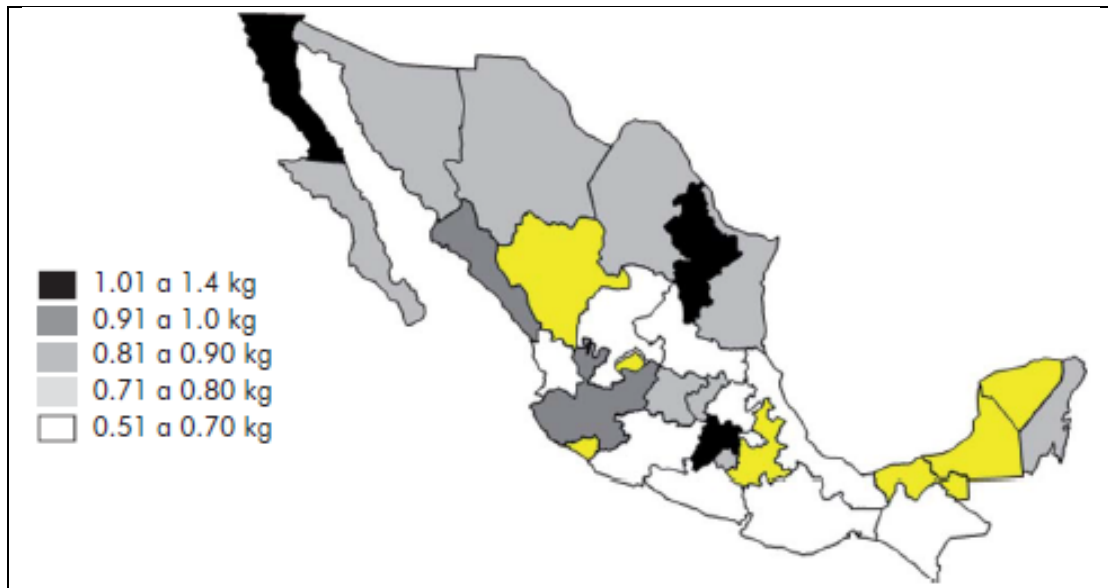


Figura 17 - Generación De Basura Per Cápita Por Día, Por Entidad Federativa.
*SEMARNAT

De recomendaciones de la SEMARNAT y de la literatura ^[5], se pueden obtener las características de los residuos sólidos generados en las comunidades, siendo de interés la generación per cápita.

Tabla 9 - Peso Especifico De Basura.

Tipo de Desperdicio	PESO ESPECIFICO (kg/m ³)			PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)		
	RANGO	TÍPICO		RANGO	TÍPICO	
	<i>Municipal</i>					
Camión compactador y vertedero	178	451	297	15	40	20
Normalmente compactado	362	498	451	15	40	25
Bien compactado	590	742	599	15	40	25
	<i>Agricultura</i>					
Agricultura (mixta)	400	751	561	40	80	50
Residuos vegetales (mixto)	202	700	359	60	90	75

*SEMARNAT

La cantidad de residuos sólido está dada por ^[10]:

$$B_{Total} = G(P) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$B_{Orgánica} = B_{Total}(0.4) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$B_{Inorgánica} = B_{Total}(0.6) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde: B_{Total} es la basura producida en *kg/d*; $B_{Orgánica}$ representa la basura orgánica producida en *kg/d*.; $B_{Inorgánica}$ es la basura inorgánica producida en *kg/d*; G la generación de basura per cápita por día en *kg/d/hab* y P la población en *hab*.

Según la figura 17, la tabla 9 y teniendo en cuenta que se analizan comunidades municipales se fija como un valor aceptable la generación de basura como *0.81 kg/día/hab*, multiplicando por la población total del estudio (13,346) y dividiendo entre mil para tener el valor en toneladas, obtenemos una **producción de basura de 10.81 t/día**.

Ahora para determinar qué porcentaje corresponde a basura orgánica y cuanto a inorgánica, las estadísticas de la SEMARNAT refieren como porcentaje duro que del total de la basura producida 60% es inorgánica y 40% orgánica ^[12], con esto tenemos una producción de **4.32 t/día de basura orgánica**.

Con los valores del gasto residual se diseñará la capacidad de planta de tratamiento y con el valor de la fracción de basura orgánica se diseñará la capacidad de la planta de composta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Enrique Salazar S., Gómez Palacio, ABONOS ORGÁNICOS Y PLASTICULTURA, México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED - Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C, 2003.
2. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, LEY DE AGUAS NACIONALES –DOF-07-06-2013, México, 2013.
3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ANUARIO ESTADÍSTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, ed. 2011, México, INEGI, 2011.
4. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS).
5. Tratamiento y gestión de residuos sólidos; Colemar Mendoza, Gallardo; Limusa, México, 2007.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

6. Diario Oficial de la Federación (DOF), <http://dof.gob.mx/normasOficiales.php>
7. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/>
8. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias>
9. Simulador de flujos de agua en cuencas hidrográficas (SIATL), http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/index.html
10. Gobierno del Estado de México, <http://portal2.edomex.gob.mx/edomex/temas/turismo/regionesy municipios/mapainteractivo/index.htm>
11. Gobierno del Estado de Hidalgo, <http://www.hidalgo.gob.mx/estado/municipios.html>
12. Consejo Nacional de Población (CONAPO), http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/De_los_municipios_de_Mexico_2010_-_2030
13. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), <http://www.semarnat.gob.mx>, Compendio de Estadísticas Ambientales 2012.

3. TRATAMIENTO DE BASURA

En México la basura es un medio importante de contaminación del medio ambiente y es responsable de uno de los más grandes problemas de las ciudades debido a los grandes volúmenes que se acumulan diariamente y por la gran diversidad de los materiales que la componen. Esta diversidad permite el desarrollo de diferentes métodos para el procesamiento y reciclado de los desechos, dando un beneficio al uso a la basura.

Hablando sobre los desechos orgánicos, el abono orgánico posee excelentes propiedades que lo hacen único por contener macro nutrientes N, P, K y micro nutrientes Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y materia orgánica en un alto porcentaje. En el proceso de transformación de la basura orgánica a abono, los desechos se reducen sin causar malos olores o atraer fauna nociva durante el proceso. Uno de los procesos que más difusión tienen es la reproducción de lombriz como pios de cría y su incorporación continua a la basura, manteniendo un ciclo de tratamiento permanente. ^[1]



Figura 18 - Problemática De La Basura.
*SEMARNART

3.1. PLANTA DE COMPOSTEO

Según la SEMARNART el volumen de la basura se calcula con ^[11]:

$$V_{Producido} = \frac{(G)(P)}{PV} (Fr) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde: $V_{Producido}$ es la basura producida en m^3 ; PV el peso específico en kg/m^3 . (Tabla 9); G es la generación de basura per cápita por día en $kg/hab/día$; P la población en hab y FR es el factor de recolección.

Calculando el espacio que requerirá la basura para ser dispuesta en la planta de composta se tiene que:

$$V_{Producido} = \frac{(0.81)(13,346)}{451} (1) = 23.97 \text{ m}^3$$

El valor de PV se obtiene de la tabla 9, usando el de basura municipal normalmente compacta, con un valor típico de 451 kg/m^3 ; el factor FR nos indica en cuantas tandas se verterá el total de la basura generada que para este caso se considera una vez al día. Entonces el volumen necesario para albergar la basura recibida de las comunidades es de 23.97 m^3 .

Para la dosis de aplicación de abonos orgánicos se toman algunas recomendaciones de la US Environmental Protection Agency (EPA), que dicen, cuando se utilizan abonos orgánicos como la composta y los residuos de cosecha, generalmente se utilizan dosis bajas, menores a las 10 t/ha . Sin embargo, es común que en el manejo de estiércol se apliquen dosis altas, que pueden llegar a más de 100 t/ha . Para lograr la sustentabilidad de los suelos donde se incorporan residuos orgánicos, es importante estimar las dosis de aplicación en función del requerimiento de nitrógeno del cultivo a establecer. ^[2]

La EPA establece:

- Los biosólidos a granel deberán ser aplicados a tierras agrícolas, bosques, sitios con contacto público, o en recuperación de sitios, a una dosis total que sea igual o menor a la tasa agronómica.
- La dosis de aplicación diseñada para proveer la cantidad de N que necesita un cultivo para alcanzar su rendimiento potencial, minimizando a la vez la cantidad de N que pueda lixiviarse al manto acuífero. ^[3]

Generalmente se recomienda estimar las dosis de aplicación en función del nitrógeno disponible para el cultivo, sin embargo, en regiones donde el riesgo de contaminación por fósforo es significativo, es este nutriente el que se toma como criterio para estimar la dosis de aplicación. Para estimar dosis de aplicación de abonos orgánicos en función del requerimiento de nitrógeno del cultivo es necesario conocer:

La concentración de nitrógeno orgánico en los abonos; la tasa de mineralización de nitrógeno; el nitrógeno residual en el suelo donde se van a incorporar los abonos y el requerimiento de nitrógeno del cultivo.

La dosis de aplicación de estiércol o biosólidos en función del nitrógeno que requiere un cultivo se calcula en base a:

$$\text{Dosis de aplicación} = \text{Requerimiento de N en el cultivo} - \text{N residual en el suelo} \quad \text{Ec. (5)}$$

Las cantidades de nitrógeno se estiman con un análisis de laboratorio

Para nuestra zona agrícola se supone un **requerimiento de 4 t/ha** de abono orgánico, el valor se toma en base a las recomendaciones anteriores y a las características del suelo descritas en el subcapítulo 2.1. La planta de compostaje deberá cubrir la demanda de 4 t/ha de abono orgánico, seleccionando el método de la lombriz compostera como la forma de tratar la basura orgánica, el abono orgánico

producido de esta forma está listo para usarse de manera directa y no hay que esperar a que se estabilice, el periodo de aplicación del abono se efectúa con un mínimo de 30 días antes de la siembra (tabla 10).

De acuerdo con la legislación, en los terrenos que reciben biosólidos debe esperarse cierto tiempo antes de sembrar o cosechar un cultivo. En el tabla 10 se mencionan los tiempos de espera entre la aplicación y la cosecha de acuerdo con la Norma de los EUA ^[4]. Cultivos como es el algodón, trigo, sorgo y avena forrajera se pueden producir sin ningún problema con el uso de biosólidos ya que en ninguno de ellos sus partes útiles tocan el suelo.

Tabla 10 - Restricciones Al Uso De Biosólidos.

USO EN	RESTRICCIÓN
Frutos con partes comestibles en contacto con la mezcla suelo - biosólidos	Cosechar después de 14 meses de aplicados los biosólidos
Frutos con partes comestibles subterráneas	Si la incorporación se realiza a los 4 meses o más después de la aplicación de los biosólidos, cosechar después de 20 meses de la aplicación.
	Si la incorporación se realiza antes de 4 meses después de la aplicación de los biosólidos, cosechar después de 38 meses de la aplicación.
Cultivos comestibles, forrajes, fibras	Cosechar después de 30 días de aplicados los biosólidos
Pastos para forraje	Pastar ganado después de 30 días de aplicados los biosólidos
Sitios con alto potencial de acceso público (parques)	Restringir el acceso por un años después de aplicados los biosólidos
Sitios con bajo potencial de acceso público (tierras de cultivo)	Restringir el acceso por 30 días después de aplicados los biosólidos.

*NRCS, 1992.

El **abono requerido** para nuestra parcela de siembra de **100 ha** será de **400 t**, la transformación de la materia orgánica en humus por las lombrices de tierra depende de la altitud y las condiciones ambientales de temperatura y humedad; a una altura de 2,100 msnm dura aproximadamente cuatro meses. A mayor altitud, menor temperatura ambiental y el proceso durará más ^[5].

En un kg de gusanos hay aproximadamente 4,000 gusanos, cada kg de gusanos puede tratar entre 0.5 y 0.8 kg de residuos orgánicos por día, por cada kg de residuos tratados se obtienen 0.6 kg de compost. Ahora en un metro cuadrado de lecho caben alrededor de 15,000 gusanos (3.75 kilos), con la capacidad de tratar entre 1.88 y 3 kg de basura orgánica, si las camas de procesamiento tienen una medida promedio de 1.6 m de ancho por 12 m de largo se necesitarían:

Área de la cama.

$$A_{cama} = 1.6(12) = 19.2 \text{ m}^2$$

Cantidad de gusanos por cama.

$$N_{gusanos} = (19.2)(15000) = 288,000 \text{ gusanos}$$

Cantidad en kg de gusanos por cama.

$$P_{gusanos} = \frac{288000}{4000} = 72 \text{ kg}$$

Tasa de procesamiento de basura orgánica por cama.

$$T_{basuras} = 72(0.5) = 36 \text{ kg/día} \quad \text{a} \quad T_{basuras} = 72(0.8) = 57.6 \text{ kg/día}$$

Tasa de producción de compost por cama.

$$T_{compost} = 36(0.6) = 21.6 \text{ kg/día} \quad \text{a} \quad T_{compst} = 58(0.6) = 34.6 \text{ kg/día}$$

Tomando un valor medio de **47 kg/día como tasa de procesamiento de basura orgánica por cama**, **28 kg/día como la tasa de producción de compostaje** y teniendo en cuenta que se espera recibir **4.32 t/día** de desechos para ser tratados.

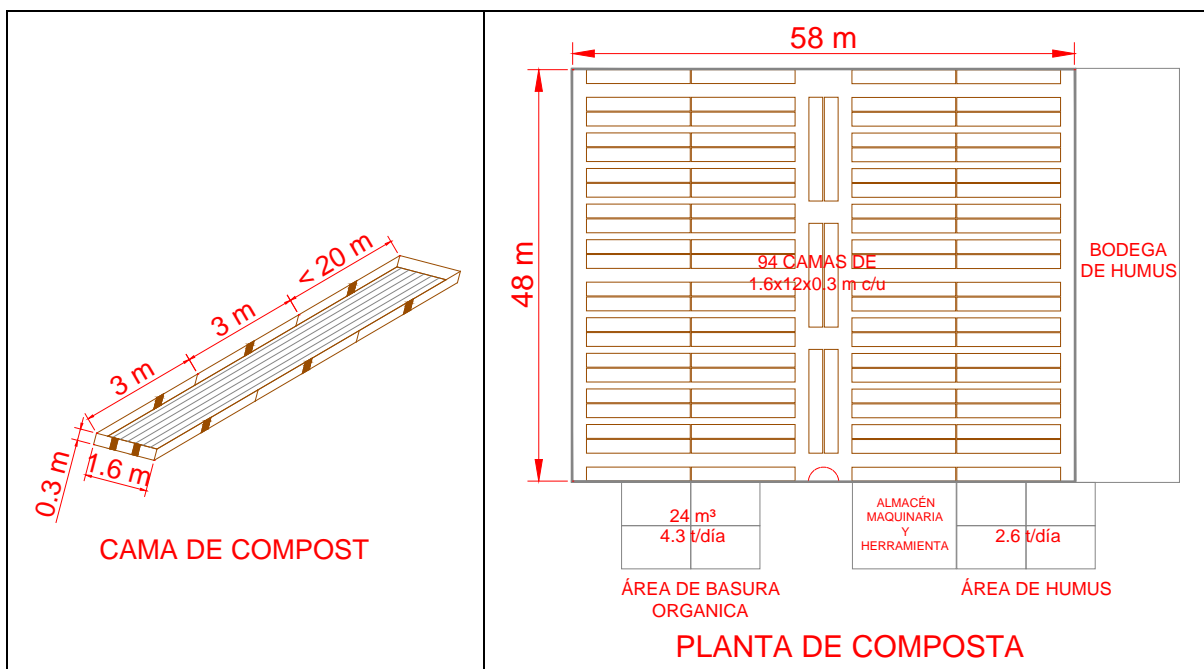


Figura 19 - Esquema Planta De Composteo.

Cantidad de camas a utilizar.

$$N_{camas} = \frac{4340}{47} = 92.31 \sim 92 \text{ camas}$$

Área total para las camas.

$$A_{Tcamas} = 92(19.2) = 1766.4 \text{ m}^2$$

Las instalaciones desarrolladas para el compost de la basura orgánica tendrán que tener destinada un **área de 1,766.4 m² para las camas de compost**, esto es para el caso que la recolecta y disposición de los residuos sea diaria, en caso contrario la cantidad de camas sería mayor o el proceso de producción de compostaje sería más lento.

Nuestra planta de compost puede **procesar 4.32 t/día** y **producir cerca de 2.6 t/día de compostaje**, para cumplir con las 400 toneladas requeridas **se necesitaran 154 días** ($400/2.6$), de producción como mínimo, por lo que la planta requerirá iniciar operación cerca de medio año (5 meses) antes de la cosecha, para poder proporcionar el abono suficiente y a tiempo para la siembra.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gonzáles Arriaga G, Casolco R. Said, LOMBRICULTURA: UNA PROPUESTA PARA LA AGRICULTURA, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Puebla.
2. Enrique Salazar S., Gómez Palacio, ABONOS ORGÁNICOS Y PLASTICULTURA, México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED - Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C, 2003.
3. Agencia de Protección Ambiental de los EUA, EPA, 1994a, 1994b.
4. Normatividad de 1992, para el manejo de residuos agrícolas, del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRSC), del Departamento de Agricultura de los EUA (USDA).
5. Colegio de Postgraduados, ELABORACIÓN DE COMPOSTA, México, SAGARPA.
6. Villariana No. 67, CÁLCULOS PARA VERMICOMPOSTAJE, Barcelona.
7. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), CONSERVACIÓN IN SITU DE LOS CULTIVOS NATIVOS Y SUS PARIENTES SILVESTRE – PRODUCCIÓN Y USO DEL HUMOS DE LOMBRIZ, Perú, 2008.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/zeolita-en-la-agricultura-t3390/078-p0.htm>
2. <http://www.mundo-geo.es/green-living/como-se-recicla-nuestra-basura-organica>

4. HIDROLOGÍA

El significado literal de la palabra Hidrología es; “el estudio del agua”. La Hidrología es la ciencia que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre; sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos. La Hidrología aplicada está constituida por aquellas partes de la Hidrología que atañen a la planeación, diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua. En la fase de planificación y diseño, el análisis hidrológico se dirige básicamente en fijar la capacidad y seguridad de las estructuras hidráulicas.

La hidrología aplicada a la agricultura responde a las preguntas; ¿cuáles son los recursos hídricos disponibles?; ¿es la explotación actual equilibrada o avanzamos hacia la desertificación?; ¿representa la contaminación actual del agua un riesgo?; ¿podemos recuperar la cantidad y calidad de nuestros recursos?; ¿cuál es el impacto actual y futuro de estas cuestiones en el medio agroforestal?

Todas estas preguntas entran dentro del ámbito de la agricultura y la hidrología. Su estudio entraña gran dificultad porque debemos enfrentarnos a dos hechos básicos. Por un lado, la imprevisibilidad del tiempo atmosférico que condiciona localmente la radiación solar en la superficie del suelo (motor del ciclo hidrológico) y las lluvias; componente fundamental del ciclo que condiciona la disponibilidad del agua como recurso. Por otro lado, la enorme heterogeneidad del sistema hidrológico (atmósfera, vegetación, fisiografía del terreno, suelo y subsuelo) dificulta el estudio y la predicción de su comportamiento.

El tratamiento de estos temas en el dominio agroforestal obliga a un cambio de escala espacial y temporal con respecto a lo normalmente empleado en otros dominios como en la ingeniería civil. La unidad de estudio agroforestal es normalmente a escala de cuenca o subcuenca de dimensiones pequeñas, pudiéndose considerar incluso el campo o parcela agrícola en ocasiones como cuenca hidrológica, o a escala puntual para el estudio del balance o flujo de agua.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), reportó no hace mucho (2010) que en el 2008, estaban en operación 3,324 de un total de 5,368 estaciones climatológicas. Las estaciones climatológicas, que miden diversas variables climáticas como la precipitación, la temperatura, la evaporación, cuentan por lo menos con un pluviómetro. No se indicó el número de pluviógrafos en operación.^[1]

Los datos de las precipitaciones son extraídos del Climatological Station Network Data (CLICOM); que representa la base de datos de México del CLICOM, ésta es un conjunto de datos diarios que son enviados desde el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN) y es puesto “tal cual” en la base de datos del CLICOM. Las observaciones a cada una de las estaciones se hicieron a las 08:00 am. El valor indicado para las observaciones diarias representa los datos recopilados durante las últimas 24 horas, finalizando a las 08:00 am del siguiente día.

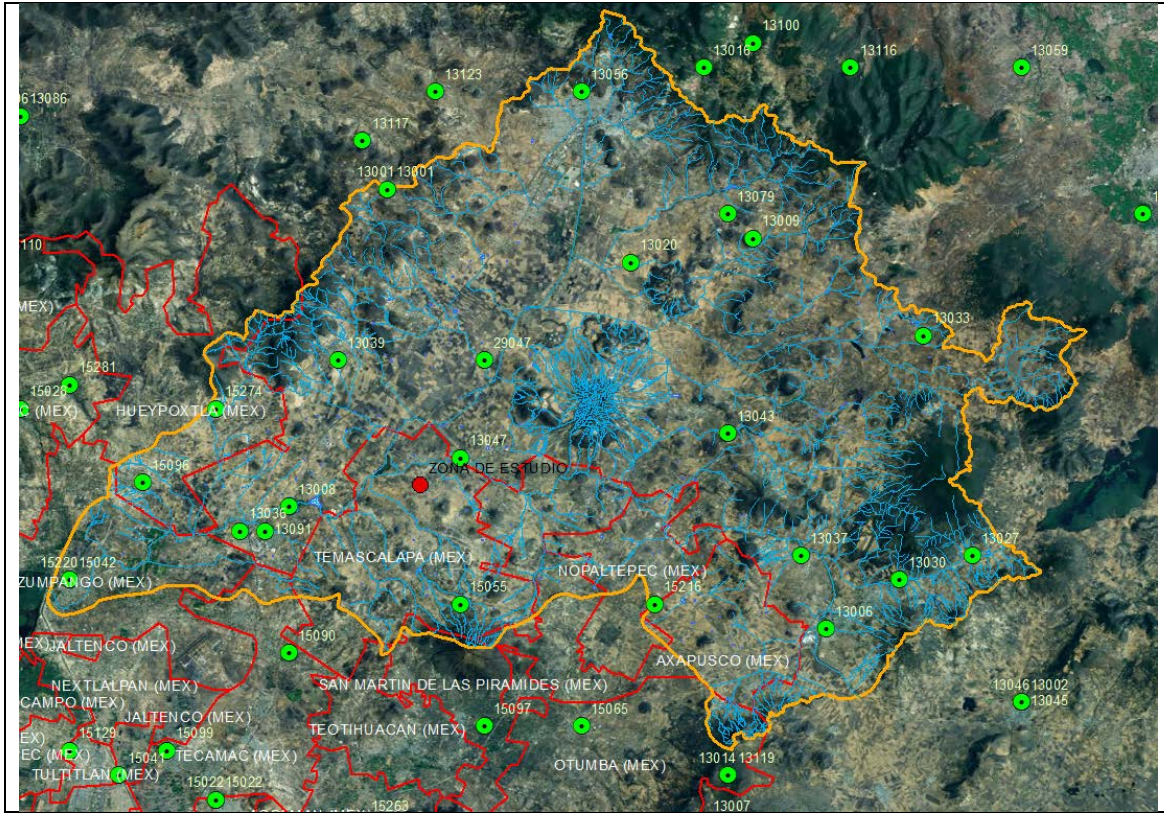


Figura 20 - Subcuenca Río Tezontepec, RH26Dt.
*INEGI - SIATL

Para la zona de estudio se hace uso de las estaciones climatológicas dentro de un diámetro de 20 km, ya que se consideran dentro del área influencia, la **cuenca** a la que pertenece la zona de estudio es la del **río Moctezuma (RH26D)**, con la **subcuenca del río Tezontepec (RH26Dt)**, en el estado de México, Tlaxcala e Hidalgo, ver figura 20.

Con esta información se interpolan los datos para tener una mayor aproximación del comportamiento de las precipitaciones en la región mediante la creación de un registro de precipitaciones en el punto de interés, tanto el registro interpolado como las series originales se deben someter a pruebas de calidad y cantidad de la información, esto es, pruebas de independencia, homogeneidad y tendencia, para verificar que se puede aplicar la metodología probabilística de la hidrología, que la serie en cuestión se trate de una población y los registros no dependan de datos anteriores. Las diferentes pruebas usadas para la revisión de la calidad de la información son:

- PRUEBA DE INDEPENDENCIA (ANDERSON) ^[4]

La prueba hace uso del coeficiente de auto correlación serial r_k^j para diferentes tiempos de retraso k . Si se analiza un registro, entonces $j = 1$. La expresión para obtener el coeficiente de correlación serial de retraso k es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q})(Q_{i+k}^j - \bar{Q})}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q})^2} \quad \text{Ec. (6)}$$

Para: $r_0^j = 1$ y $k=1,2, \dots, n_j/3$ Dónde: $\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$

Además, los límites al 95% de confianza para r_k^j se pueden obtener como:

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96 \sqrt{n_j - k - 1}}{n_j - k} \quad \text{Ec. (7)}$$

La grafica de los valores estimados para r_k^j (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas) junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra.

Si y solo si, menos del 10% de los valores r_k^j sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie Q_i^j es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad. La prueba se hace desde $k=1$ hasta $k = \frac{L}{3}$ donde L es el número de registro, es mejor si r se acerca a cero.

- PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD [4][8]

Pruebas estadística de t de Student

Cuando la causa probable de la perdida de la homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t es muy útil. Si se considera una serie de tamaño n, la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = n/2$, entonces el estadístico de prueba se define con la expresión:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde \bar{x}_1, s_1^2 Son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1 y \bar{x}_2, s_2^2 son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2 .

El valor absoluto de t_d se compra con el valor de la distribución t de Student de dos colas con $\nu = n_1 + n_2 - 2$, grados de libertad y para un nivel $\alpha = 0.05$.

Si y solo sí, el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie se considera homogénea.

Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar la homogeneidad en el registro en estudio, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un periodo de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra n; el segundo de tamaño n_{60} (60% de los últimos valores de la muestra n); y el tercero de tamaño n_{30} (30% de los últimos valores de la muestra n).

La prueba compara el valor de la media, \bar{x} , del registro total con cada una de las medidas de los bloques elegidos \bar{x}_{60} y \bar{x}_{30} . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad S_x = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$\bar{x}_{60} = \sum_{i=1}^{n_{60}} \frac{x_k}{60}; \quad \bar{x}_{30} = \sum_{i=1}^{n_{30}} \frac{x_k}{30} \quad \tau_{60} = \frac{\bar{x}_{60} - \bar{x}}{S_x}; \quad \tau_{30} = \frac{\bar{x}_{30} - \bar{x}}{S_x}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n-2)}{n-n_w[1+(\tau_w)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w| \quad \text{Ec. (10)}$$

para $w=60$ y 30

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $v = n_1 + n_2 - 2$, grados de libertad y para un nivel $\alpha= 0.05$.

Si y solo sí, el valor absoluto de t_w , para $w=60$ y $w=30$, es mayor que el de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por tanto la serie x_i se considera no homogénea.

Prueba de Helmert

Esta prueba es no paramétrica y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento Q_j^i de la serie j para $j = 1,2,3,\dots,n_j$ con respecto al valor medio \bar{Q}_j . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se forma una secuencia “S”, de lo contrario se considera como un cambio “C”.

La serie se considera homogénea si:

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (NS - NC) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde n_j es el tamaño de la muestra; NS el número de secuencias y NC el número de cambios.

Prueba de Pettitt

Es una prueba no paramétrica basada en rangos, que se emplea para identificar un punto de cambio en una serie de tiempo. Una vez que se detecta el punto de cambio la serie se divide en 2 intervalos para determinar su tendencia. Las 2 muestras $(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_t)$ y $(Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3}, \dots, Q_t)$ vienen de la misma población.

La prueba estadística $U_{t,N}$ está dada por:

$$U_{t,N} = \sum_{t=1}^t \sum_{j=t+1}^N \text{signo}(Q_t - Q_j) \quad \text{Ec. (12)}$$

La hipótesis nula de la prueba denota la ruptura en la serie para:

$$\begin{aligned} \text{signo}(Q_t - Q_j) &= 1 && \text{Si } Q > 0 \\ &= 0 && \text{Si } Q = 0 \\ &= -1 && \text{Si } Q < 0 \end{aligned}$$

Sea k_n la variable definida por el máximo valor absoluto del estadístico $U_{t,N}$ para t que varía de 1 hasta $N-1$. Si k designa el valor de k_n tomado de la serie analizada con la hipótesis nula, la probabilidad de excedencia del valor k estará dada:

$$\text{prob}(k_n > k) \approx 2 \exp\left(\frac{-6k^2}{N^3 + N^2}\right) \quad \text{Ec. (13)}$$

Para un riesgo α de primer orden. Si $\text{prob}(k_n > k)$ es inferior, la hipótesis nula se rechaza.

El punto de cambio más significativo es donde $|U_{t,N}|$ es el máximo de k_n .

Tabla 11 – Estadístico De Prueba Para Pettitt.

PROB (%)	20	30	40	50	70	100
1	71	133	208	293	488	841
5	57	107	167	235	393	677

Prueba de homogeneidad Normal Estándar

Es una prueba paramétrica que asume como hipótesis nula que las series son independientes e idénticamente distribuidas (homogéneas). La hipótesis alterna considera que hay una fecha de cambio en la media de los datos.

Sea \bar{Q} la media de la serie y Q_j la serie por examinar.

La prueba es:

$$T(k) = k\bar{Z}_1^2 + (n-k)\bar{Z}_2^2 \quad \text{Ec. (14)}$$

para $k = 1, \dots, n$

Donde:

$$\bar{Z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{Q_i - \bar{Q}}{s} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\bar{Z}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \frac{Q_i - \bar{Q}}{s} \quad \text{Ec. (16)}$$

La media de los primeros k años y los últimos $n - k$ años del registro se comparan. $T(k)$ alcanza un máximo cuando hay un cambio localizado en el año k . La distribución de $T(k)$ de la serie se observa al graficar los resultados de cada año. El estadístico de prueba T_0 se define como:

$$T_0 = \max_{1 \leq k \leq n} T(k) \quad \text{Ec. (17)}$$

Si T_0 es superior al valor crítico la hipótesis nula se rechaza.

Tabla 12 – Estadístico De Prueba Para Normal Estándar.

PROB (%)	20	30	40	50	70	100
1	9.56	10.45	11.01	11.38	11.89	12.32
5	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15

Prueba estadística de Buishand

Es una prueba de origen Bayesiano y propone detectar cambios en la media de la serie

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, m \\ \mu + \Delta + \varepsilon_i & i = m + 1, \dots, n \end{cases} \quad \text{Ec. (18)}$$

ε_i son variables aleatorias con media cero y varianza σ^2 . El punto de ruptura m y los parámetros μ y Δ . Son valores desconocidos. Sea la variable:

$$S_k^* = \begin{cases} 0 & \\ \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) & \end{cases} \quad \text{Ec. (19)}$$

para $k = 1, \dots, N$

Donde: \bar{x} es la media de los valores x_1, x_2, \dots, x_n ; S_k^* es tal que

$$\begin{aligned} E(S_k^*) &= -k(N - m)N^{-1}\Delta & \text{para } k = 0, \dots, m \\ E(S_k^*) &= -m(N - k)N^{-1}\Delta & \text{para } k = m + 1, \dots, N \\ \text{Var}(S_k^*) &= k(N - k)N^{-1}\sigma^2 & \text{para } k = 0, \dots, N \end{aligned}$$

Se supone una distribución a priori uniforme para la posición del punto de ruptura m . El estadístico B de “Buishand”, son propuestos a partir de un proceso de simulación de Monte Carlo.

Tabla 13 – Estadístico De Prueba Para Buishand.

N	Q/(N) ^{0.5}		
	10%	5%	1%
10	1.05	1.14	1.24

N	Q/(N) ^{0.5}		
	10%	5%	1%
20	1.10	1.22	1.42
30	1.12	1.24	1.46
40	1.13	1.26	1.50
50	1.14	1.27	1.52
100	1.17	1.29	1.55
∞	1.22	1.36	1.63

Prueba de Von Newman

La relación de Von Newman se define como:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - Q_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad \text{Ec. (20)}$$

Si la muestra tiene un cambio entonces el valor de N tiende a ser menor que el valor esperado $E[N]$. Si la muestra tiene variaciones rápidas en la media, entonces el valor de $N > 2$ y se dice que hay un cambio en la tendencia de la serie. La prueba no da información sobre el punto de quiebre.

Tabla 14 – Estadístico De Prueba Para Von Newman.

PROB (%)	20	30	40	50	70	100
1	1.04	1.2	1.24	1.36	1.45	1.54
5	1.3	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

Prueba de Fisher

Esta es una prueba no paramétrica que relaciona la varianza de los subconjuntos (de longitud similar y sin presentar traslape) de la serie completa.

Esta prueba mide la estabilidad de la varianza a pesar de que los datos no se apeguen a la distribución normal.

La hipótesis nula es: “La varianza de los subconjuntos son iguales”:

$$F_t = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^w (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Ec. (22)}$$

w es para cada subconjunto; F_t Se compara con la distribución F de Fisher.

Para $\nu_1 = n_1 - 2$ y $\nu_2 = n - 2$ grados de libertad.

Si $F_t > F_{tablas}$ la serie es no homogénea en la varianza.

De todas las pruebas anteriores la prueba de homogeneidad Normal Estándar tiende a detectar el punto de cambio cerca del comienzo o al final de una serie. En tanto que las pruebas de Buishand y Pettit lo son para la parte media de la serie. La prueba de Von Newman solo evalúa la aleatoriedad de la serie pero no informa sobre el año de ruptura.

- PRUEBAS DE TENDENCIA ^[8]

Prueba de Mann – Kendall

El test es no paramétrico, estadísticamente basado en el ranking o número de orden de 2 variables, una le evento y otra el tiempo, cada valor de los datos se compara con todos los valores siguientes. El valor inicial del estadístico “S” se supone que es cero, es decir, no existe una tendencia.

Si el valor de los datos de un periodo de tiempo posterior es más alto que un periodo anterior, “S” se incrementa en 1, por otro lado, si el valor de los datos de un periodo posterior es inferior a un valor de los datos de una muestra anterior, “S” disminuye en 1. El resultado neto de todos los incrementos y decrementos de tales rendimientos, es el valor final de “S”.

El estadístico “S” de la prueba de Mann – Kendall se obtiene como:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k) \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde x_j y x_k son los valores anuales en los años j y k con $j > k_j$ y

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. (24)}$$

La hipótesis nula a probar es: No existe correlación entre los eventos “x” e “y”

La hipótesis nula se rechaza a nivel de significancia α si $|Z_s| > Z_{critico}$, donde $Z_{critico}$ es el valor de la distribución normal estándar con una probabilidad de excedencia de $\alpha/2$. El valor de prueba se obtiene como:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. (25)}$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n - 1)(2n + 5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p - 1)(2t_p + 5)] \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde n es el número total de datos; g el número de grupos vinculados, un grupo vinculado es un conjunto de datos muestra que tiene el mismo valor, t_p es el número de puntos de datos en el grupo p_{th} .

La prueba de Mann – Kendall se ve afectada cuando la serie presenta cierta autocorrelación. La presencia de autocorrelación positiva tiende a incrementar la probabilidad de detección de tendencia, cuando en efecto, no existe. Mientras que la autocorrección negativa tiende a disminuirla.

Existen 2 tipos de modificaciones, para series autocorrelacionadas: **Corrección de la VAR (S) y Técnica de Preblanqueo.** [8]

Prueba de Spearman

Esta prueba se basa en el rango para la correlación entre dos variables que se pueden utilizar para comprobar la correlación entre el tiempo y la serie de datos.

El coeficiente de correlación por datos es:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N (r_{xi} - r_{yi})^2}{n^3 - n} \quad \text{Ec. (27)}$$

Para tamaños de muestra mayor que diez se puede emplear el estadístico de prueba:

$$t_d = \frac{R_s}{\left[\frac{1 - R_s^2}{n - 2} \right]^{1/2}} \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde t_d sigue la distribución t con $n - 2$ grados de libertad si $|t_d| > t_{critico}$

La serie presenta tendencia si:

- $R_s > 0$ Tendencia creciente
- $R_s < 0$ Tendencia decreciente

4.1. DELIMITACIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS

El un estudio hidrológico no se hace uso del total de las estaciones localizadas, ya que no todas aportan información valiosa al sitio de interés y no pertenecen a una región homogénea, esto es, las estaciones de influencia no tienen un comportamiento en el patrón de las lluvias a fin y los estadísticos de la serie difieren del sitio de interés, para hacer esta selección, se busca un periodo común entre las estaciones, no necesariamente continuos, procurando que al menos se consigan más de 10 años como periodo común entre las estaciones, de ellos se extraen las características de la serie como puede ser:

- Precipitación media anual.
- Altura media de las lluvias de 24 horas.
- Altura media de la lluvia de cada mes.
- Número de días con precipitación apreciable.

Para el análisis de las regiones homogéneas se hace uso de las siguientes técnicas:

- MOMENTOS – L [4]

Esta técnica se fundamenta en el empleo de los coeficientes de variación de los momentos de la muestra (Momentos-L). Para una muestra ordenada de mayor a menor, los 4 primeros momentos - L; que son: Los momentos β son los momentos de probabilidad pesada

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Ec. (29)}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} x_i(n-i) \quad \text{Ec. (30)}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-2} x_i(n-i)(n-i-1) \quad \text{Ec. (31)}$$

$$\beta_3 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^{n-3} x_i(n-i)(n-i-1)(n-i-2) \quad \text{Ec. (32)}$$

Los momentos λ son los momentos - L

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad \text{Ec. (33)}$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad \text{Ec. (34)}$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad \text{Ec. (35)}$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad \text{Ec. (36)}$$

Coefficiente de variación $L = \tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \text{Ec. (37)}$

Coefficiente de sesgo $L = \tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad \text{Ec. (38)}$

Coefficiente de Curtosis $L = \tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad \text{Ec. (39)}$

- PARÁMETRO β DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL DE VALORES EXTREMOS ^[4]

$$F(x) = e^{-[1-(\frac{x-\mu}{\alpha})^\beta]^{1/\beta}} \quad \text{Ec. (40)}$$

β es el parámetro de forma; α es el parámetro de escala; estos parámetros se obtienen por la técnica de los momentos-L

Si:

$\beta = 0$ Distribución Gumbel

$\beta < 0$ Distribución Frechet

$\beta > 0$ Distribución Weibull

$$\hat{\beta} = 7.859E + 2.9554E^2 \quad \text{Ec. (41)}$$

$$\hat{\alpha} = C/(A)(B)$$

Donde

$$E = \left\{ \frac{2\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_0}{3\hat{\beta}_2 - \hat{\beta}_0} \right\} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} \quad C = (2\hat{M}_1 - \hat{M}_0)\hat{\beta} \quad A = \Gamma(1 + \hat{\beta}) \quad B = 1 - 2^{-\hat{\beta}} \quad \text{Ec. (42)}$$

Donde $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1$ y $\widehat{\beta}_2$ son los momentos de probabilidad pesada.

- REGIÓN DE INFLUENCIA ^[4]

$$D_{jb} = \left[\sum_{i=1}^P (C_j^i - C_b^i)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (43)}$$

$$C_j^i = \frac{x_j^i}{s(x^i)} \quad \text{Ec. (44)}$$

$$C_b^i = \frac{x_b^i}{s(x^i)} \quad \text{Ec. (45)}$$

Donde D_{jb} es la distancia euclidiana entre una estación j y la estación Base b ; P el número de atributos considerados; C_j^i, C_b^i los valores estandarizados de los tributos i para los sitios j y la estación base b ; x_j^i el valor del atributo i del sitio j ; x_b^i el valor del atributo i de la estación base y $s(x_i)$ la desviación estándar del atributo i , considerando todos los sitios j y la estación base b . El proceso de estandarización elimina las unidades de cada atributo y reduce cualquier diferencia de escala dentro de los rangos.

La búsqueda de un periodo común arrojó 12 años (1966, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1977, 1980, 1982 y 1984), con 14 estaciones (15032, 15028, 15115, 15129, 15041, 15170, 15083, 15008, 15044, 15124, 15090, 15055, 13008, 15065) dónde la estación 1 corresponde a la 15032, la 2 a la 15028 y así hasta la 14 (15065).

No. Estación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Clave:	15032	15028	15115	15129	15041	15170	15083	15008	15044	15124	15090	15055	13008	15065

Los resultados en base a la estación 13 (13008) que es la de mayor interés por ser la más cercana al sitio de estudio se muestran en las figuras 21 y 22.

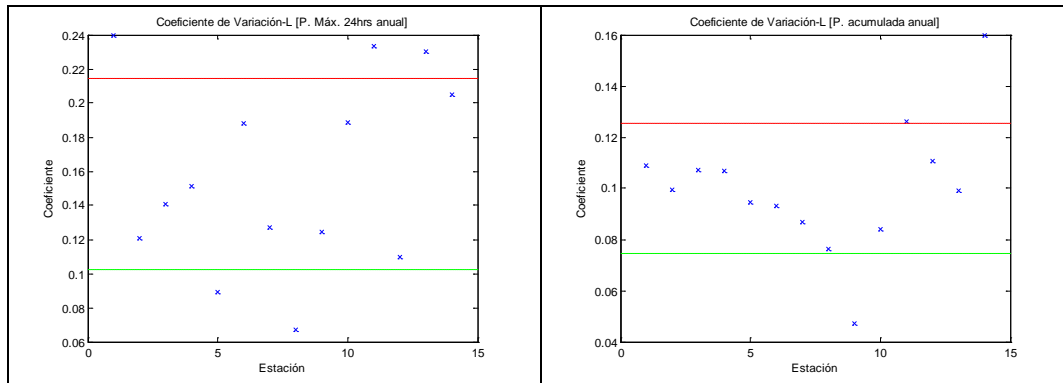


Figura 21 -Región Homogénea, Coeficiente De Variación – L.

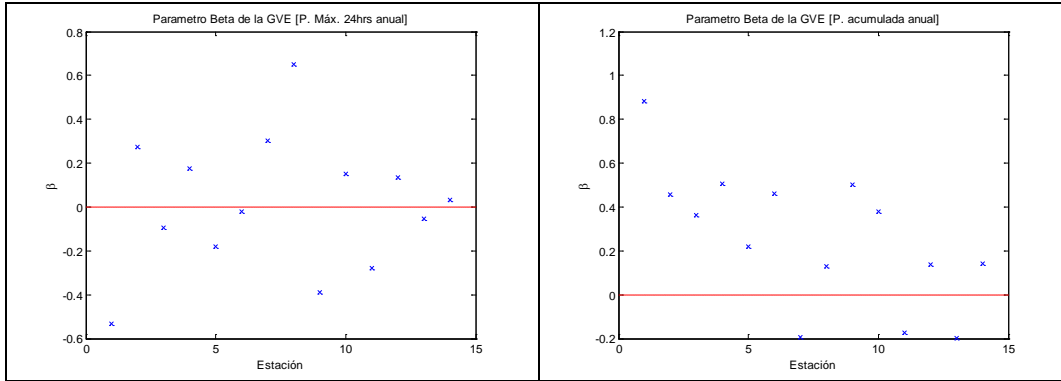


Figura 22 - Región Homogénea, Parámetro B De La GVE.

Estación base elegida: 13

Tabla 15 - Región De Influencia.

Estación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Distancia E:	6.77	5.9	6.09	6.91	5.99	7.29	6.98	7.06	7.16	5.11	3.32	4.89	----	7.3

Valor del atributo de discriminación: 6.2128

Estaciones pertenecientes a la base: **2, 3, 5, 10, 11, 12.**

Por ser las estaciones que más veces salieron consistentes en los estudios y por ende de mayor confianza, se eligen la 3 (15115), 5 (15041), 10 (15124), 11 (15090) y 12 (15055) como homogéneas a la estación 13 (13008).

Dentro del análisis se realizan pruebas de independencia y homogeneidad tanto para las series originales como para las rellenadas, estas pruebas resultaron satisfactorias, excepto para el caso de la estación 15115 y 15090 donde se detecta que son no homogéneas en su serie original, de las rellenadas la 15055 resulto también como no homogénea, además de detectarse una tendencia decreciente.

4.2. INTERPOLACIÓN DE DATOS

El rellenado de la serie se hace mediante la técnica de interpolación de la distancia inversa, con ecuación:

$$\omega_j = \frac{\left[\frac{1}{d_{ej}} \right]^\beta}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{d_{ei}} \right]^\beta} \quad \text{Ec. (46)}$$

$\beta = 1$ Interpolación de la distancia inversa.

$\beta = 2$ Interpolación de la distancia inversa al cuadrado.

β También puede obtenerse por interpolación.

Con la ecuación 46, un valor de $\beta = 2$ (para dar mayor peso a las estaciones cercanas) y las estaciones pertenecientes a la región homogénea se obtiene una matriz de distancias entre el punto de interés y las estaciones aledañas, el recíproco de esta distancia elevado a la β , es dividido entre la suma

total del recíproco de las distancias a la β , con lo que se obtienen un factor de peso w_j , con estos factores se puede trasladar información al punto de interés simplemente multiplicando el w de cada estación por el dato a trasladar y sumando el resultado de cada operación, la suma es el valor correspondiente a al punto de interés. Para rellenar los registros de precipitación y temperatura (cuidando la altura), dichas estaciones en orden de importancia son 15055, 13008 y 15090, llegando a completar 48 años, de 1961 a 2008. Para la interpolación se seleccionan el de mejor ajuste entre diferentes técnicas, como la de distancia optima, Kriging, distancia inversa y multicuadrática, siendo en este caso la de la distancia inversa con el valor de $\beta = 1$ la que dio el mejor ajuste. El registro generado mediante interpolación resulto ser una serie independiente, homogénea sin tendencia ver figura 25.

Aplicando la misma metodología para las series interpoladas de T_{max} y T_{min} , ambas resultan independientes, pero la T_{min} califica como no homogénea con tendencia creciente, la tendencia tiene una pendiente de $0.0141 [^{\circ}C/año]$ y un grado de cambio de $0.6607 ^{\circ}C$, cabe destacar que se están analizando 48 años de registro, lo mínimo recomendado para tener certeza en la determinación de tendencias es de 50 años, se está cerca de este valor pero no cumple, cabe la posibilidad que con la información de los años actuales la tendencia sea nula o se confirme dicho comportamiento, por lo que no se toma como fiable la tendencia, pero es una señal de alerta de que las demandas o pérdidas de agua pueden aumentar a causa del incremento en la temperatura mínima.

Con los valores de precipitación, temperatura máxima y mínima, se pueden calcular las necesidades de agua del cultivo, realizar una simulación de crecimiento, elaborar un programa de riego, valuar los rendimientos esperados bajo las condiciones normales de clima y las condiciones adversas además calcular los gastos de diseño.

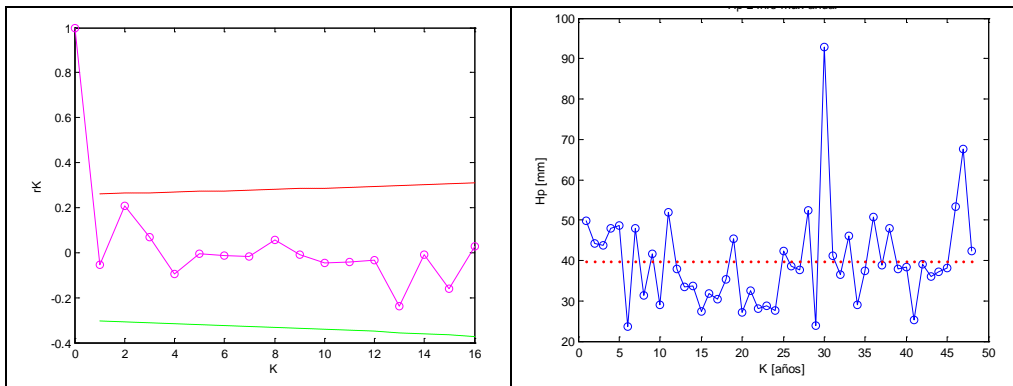


Figura 23 - Pruebas Serie De Precipitación (hp Acumulada Anual).

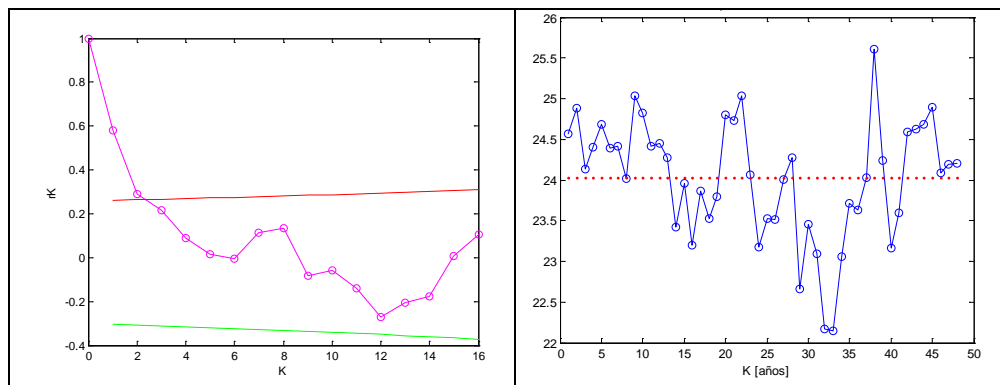


Figura 24 - Pruebas Serie De Temperatura Máxima ($^{\circ}C$).

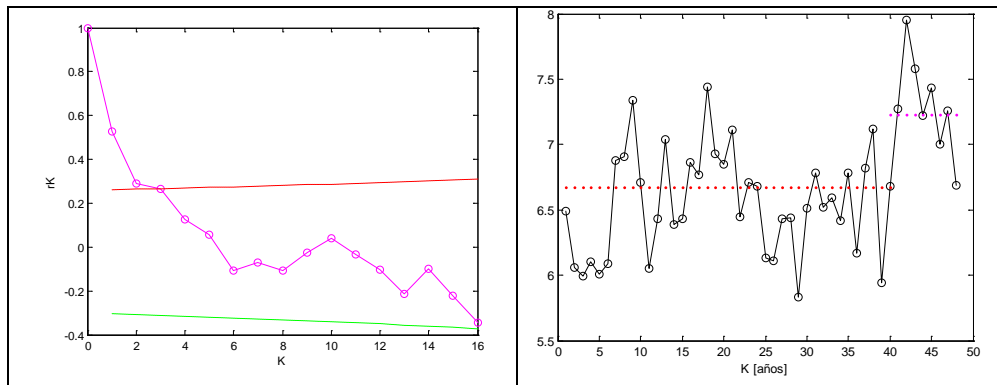


Figura 25 - Pruebas Serie De Temperatura Mínima (°C).

Las velocidades de viento se obtienen con ayuda del IWMI, que es uno de varios centros internacionales de investigación operados por el Grupo Consultativo sobre Investigación Agrícola (CGIAR), dicha fuente es recomendada por la SAGARPA para anteproyectos agrícolas.^[11]

4.3. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

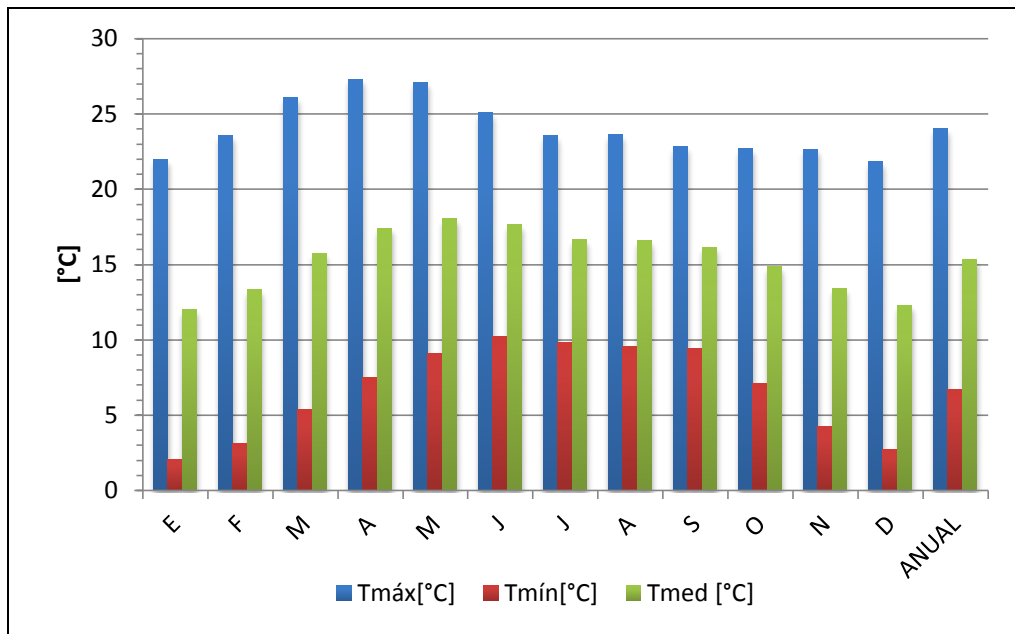


Figura 26 - Características De Temperatura En La Zona En Estudio.

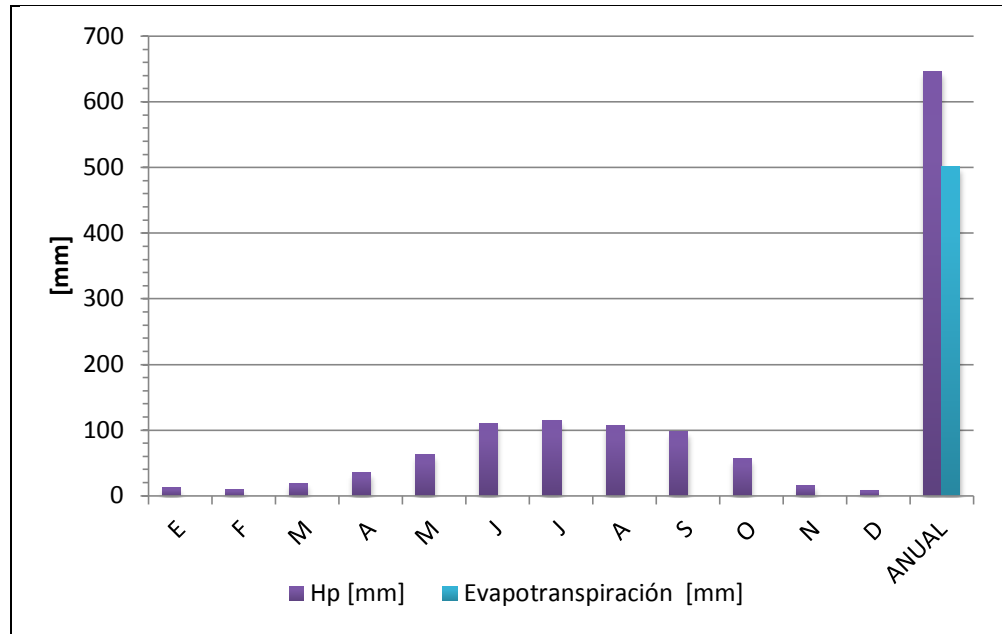


Figura 27 - Características De Precipitación Y Evapotranspiración En La Zona En Estudio.

De las figuras 26 y 27 se resume que las temperaturas máximas son en marzo, abril, mayo y junio, estas representaran las épocas de mayor demanda para el cultivo mientras que las mínimas son en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, siendo marzo un mes de especial cuidado ya que se tienen temperaturas altas (26.1 °C) y mínimas considerables (5.3 °C). De la figura 27 se observa que los meses lluviosos son en junio, julio, agosto y septiembre, siendo el mayor en julio, destaca el resultado de la evapotranspiración, calculada con la fórmula empírica de COUTAGNE ^[12], la cual solo es aplicable a valores anuales por lo que no se obtienen por mes; pero destaca que el valor (500.9 mm) es considerable comparándolo con la precipitación esperada (646.1 mm), haciendo otra prueba con la fórmula de TURC ^[12] el resultado es ligeramente menor al anterior (481.90 mm), se resume que la evapotranspiración esperada es muy alta para los cultivos, por lo que se demuestra que la necesidad de hacer un uso eficiente del agua en el riego es esencial para el desarrollo de la agricultura y la preservación de los recursos hídricos ya que si la precipitación no cumple las demandas a causa de estas pérdidas, la cantidad y número de riegos se incrementa, dichos volúmenes serían suministrados por las fuentes subterráneas, que de por sí en la región se encuentra sobreexplotados.

Revisando la serie de precipitación para la caracterización del déficit de precipitación anual ^[9] se concluye que *se puede presentar en promedio un periodo de sequía cada 4 años y durar 2 años, es decir el 50% de las veces esta zona presenta déficit* con un valor promedio de 74.84 mm con una desviación estándar de ± 49.85 mm, encontrando el déficit de que considere la variabilidad anual se obtienen el valor de 124.69 mm, si a la media de la serie se le resta el déficit se tendrá la lámina de lluvia disponible en déficit (hp*) la cual se debe considerar dentro de los planes hídricos para asignar agua, **hp* = 521.45 mm.**

Una vez identificada la sequía se pasa a caracterizar las temperaturas buscando las olas de calor y heladas a fin de identificar que tan vulnerable es la zona ante estos eventos, que tan recurrentes son y si es conveniente mover las fechas de los cultivos para tener un menor riesgo de pérdida de la siembra.

Las olas de calor se identifican usando umbrales fijos, generalmente se tienen ola de calor cuando en dos días consecutivos la temperatura máxima es mayor o igual a dicho umbral, de las series de temperatura máxima diaria en los meses de temporada de calor se usa el percentil 90 y 95 como umbral, el percentil 95 es más restrictivo, se recomienda usar cuando se estudien casos en el norte del país. Se debe identificar el exceso de temperatura (diferencia de medición con umbral), la temperatura promedio, día de inicio y día de fin. ^[9]

Del registro de 1961 a 2008 (48 años), se tienen 116 eventos que sobrepasaron el umbral de $T_{90} = 30.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo los años de mayores eventos 1998 con 7, 1965 con 6 y 1969, 1981, 1983 y el 2002 con 5 eventos, la probabilidad de tener al menos una ola de calor en el año es de 79.17 %, esto nos dice que es altamente probable tener este evento en el año, la probabilidad de tener una ola de calor en un año con una cierta duración se muestra en la figura 28, se considera la no ocurrencia del evento.

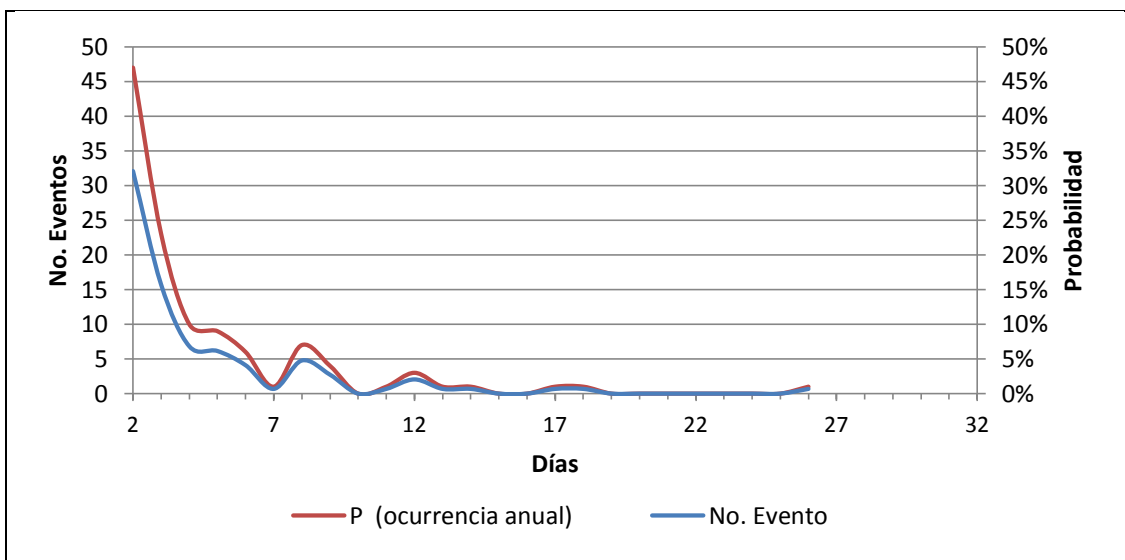
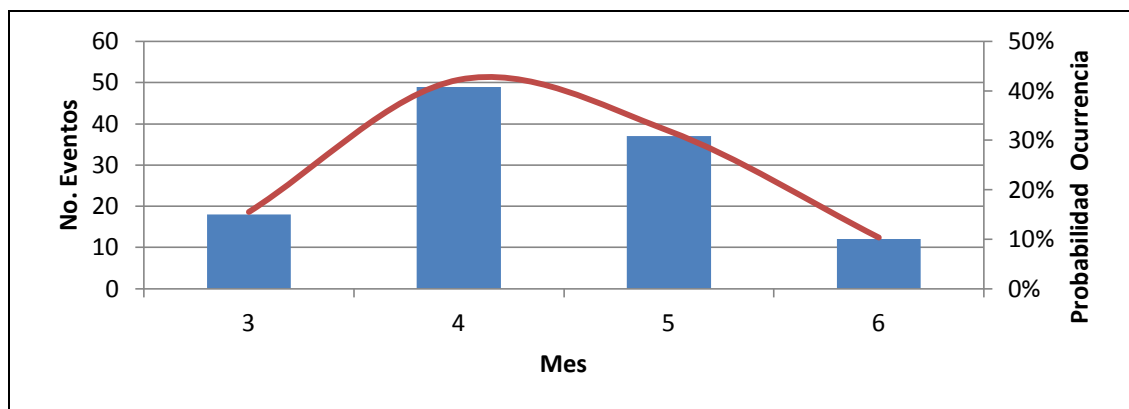


Figura 28 - Probabilidad En Un Año De Tener Una Onda De Calor De Duración N Días Y Número De Eventos.



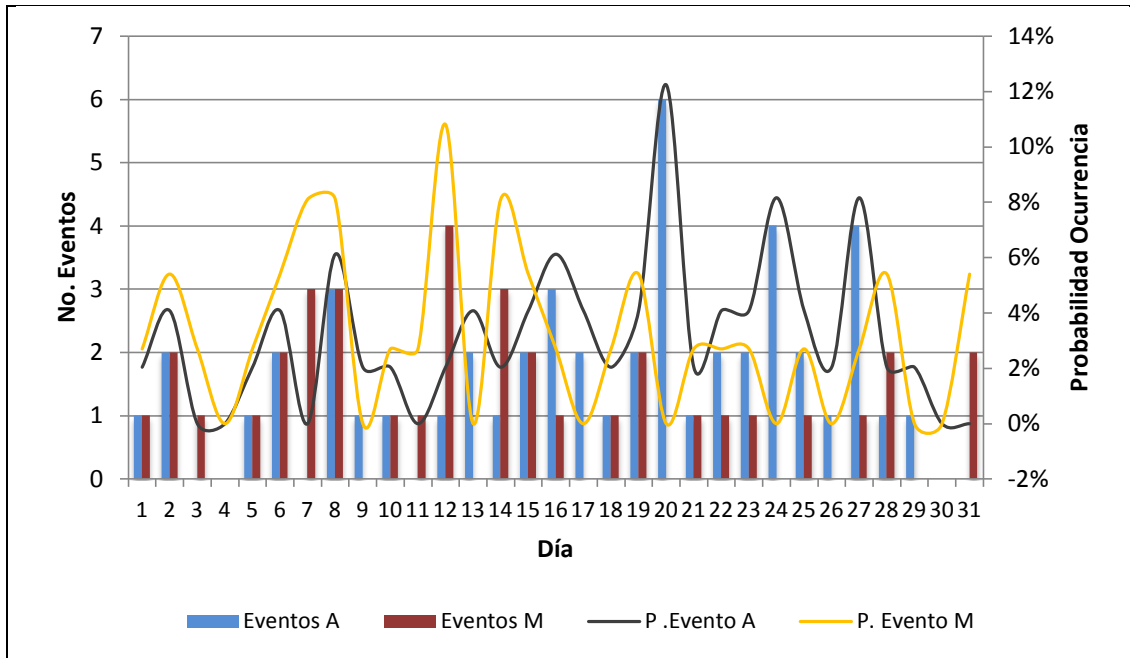


Figura 29 - Probabilidades De Ocurrencia Ola De Calor, Mes Y Día.

Tabla 16 - Eventos Por Decadas.

Década	No. Evento
60's	28
70's	23
80's	24
90's	16
2000 - 2008	25

Tabla 17 - Temperatura Promedio Por Duración De La Onda.

Duración (DÍAS)	T promedio onda [°C]	Duración (DÍAS)	T promedio onda [°C]
2	30.89	10	-----
3	31.05	11	31.80
4	30.94	12	31.51
5	31.29	13	31.35
6	31.19	14	32.41
7	30.93	15	-----
8	31.79	16	-----
9	31.38	17	32.03
10	-----	18	32.08

La probabilidad de que las olas de calor se presenten en abril es de 42.24% y en mayo de 31.90%, el día más probable de que se aparezca en abril es el día 20 con una probabilidad del 12.24% y en mayo el día 12 con una probabilidad del 10.81%.

Las heladas son un fenómeno que daña de manera parcial o total a los cultivos. La helada se define desde el punto de vista meteorológico cuando la temperatura es menor o igual a 0°C en 2 o más días consecutivos.

Los registros de las fechas de inicio de las heladas presentan ceros o sesgo debido a que el fenómeno no necesariamente se presenta todos los años, por lo que es necesario modelarlo a través de la función Gamma mixta.

$$H(x) = q - p[F(x)] \quad \text{Ec. (47)}$$

Donde q es la probabilidad de tener ceros en el registro; $P= 1-q$ y $F(x)$ es la unción Gamma de 2 parámetros.

Se pueden definir dos tipos de heladas.

- a) Temprana (heladas otoñales) – la numeración de ocurrencia empieza el 1° de septiembre con el número 122 y decrece hasta el 31 de diciembre con el número 1. Se pueden establecer mapa con el día de inicio de cata tipo de helada para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.
- b) Tardías (heladas primaverales) – La numeración de las tardías comienza el primero de enero con el número 1 y termina el 2 de mayo con el número 122. (El días 29 de febrero no se toma en cuenta)

El estándar que se usa para el diseño es el de 10 años periodo de retorno.

En zonas frías se debe identificar un umbral diferente, este umbral será la temperatura que se identifique como causante de estragos o que ponga en peligro las actividades económicas y la vida.

Tabla 18 - Estadísticos Heladas.

MEDIA	DESV. STD	H. TEMPRANAS	MEDIA	DESV. STD	H. TARDÍAS
32.00	22.09	Día inicio	24.26	20.89	Día inicio
4.89	2.48	Duración [días]	5.21	3.59	Duración [días]
-1.71	±1.20	Tm [°C]	-1.87	±1.08	Tm [°C]
25.00%		P. cero	10.42%		P. cero

En la tabla 18 se presentan los estadísticos de las muestras para heladas tempranas y tardías, mientras que en las tablas 19 y 20 se muestran los ajustes de los fenómenos a una función mixta de Gamma de dos parámetros. Las **heladas tempranas** muestran que el valor medio de día de inicio ronda el 32 que corresponde al **30 de noviembre** con una dispersión de ± 22 días, duración esperada de 5 ± 2 días y temperatura mínima promedio de -1.71 ± 1.20 °C; por el lado de las **heladas tardías** el día de inicio promedio es el 24 que corresponde al **24 de enero** con una dispersión de este valor de ± 21 días, la duración de las heladas se espera de 5 ± 4 días con una temperatura promedio de -1.87 ± 1.08 °C.

Tabla 19 - Ajuste Probabilístico De Heladas Tempranas.

ESTIMADOR	CONCEPTO	ESTACIÓN	PARÁMETRO		EE	PERIODO DE RETORNO					
			ESCALA	FORMA		2	5	10	20	50	100
M-L	Día de Inicio	Tempranas	16.9589	1.8869	2.59	21	54	69	83	101	115
M	Duración	Tempranas	1.2597	3.8809	0.53	3.8	7.4	8.8	10.1	11.7	12.9
M-L	Temp. P.	Tempranas	0.9757	1.7509	0.17	-1.07	-2.93	-3.75	-4.54	-5.6	-6.4

Tabla 20 - Ajuste Probabilístico De Heladas Tardías.

ESTIMADOR	CONCEPTO	ESTACIÓN	PARÁMETRO		EE	PERIODO DE RETORNO					
			ESCALA	FORMA		2	5	10	20	50	100
M-L	Día de Inicio	Tardías	21.8186	1.1117	3.51	15	41	56	72	93	109
M	Duración	Tardías	5.2093	3.5894	0.98	15.8	27.0	32.8	38.1	44.8	49.7
M-L	Temp. P.	Tardías	0.6963	2.6816	0.18	-1.51	-2.81	-3.49	-4.14	-4.97	-5.58

Se deberá revisar si los cultivos son aptos para resistir las heladas con periodo de retorno de 10 años, que según se muestra para **heladas tempranas** se pueden presentar cerca del día **69 (24 de octubre)**, con una duración de 9 días y una temperatura promedio de -3.75 °C, para las **heladas tardías** de puede presentar cerca del día **56 (25 de febrero)** con una duración de 33 días y una temperatura de -3.49 °C.

4.4. DATOS DE DISEÑO

En resumen las condiciones a simular serán 2, una promedio y otra adversa, dentro del registro se identifican estas dos condiciones, que como ya se han presentado en la historia pueden volver a hacerlo con esa magnitud, los años seleccionados son 1988 (promedio), 1993(adverso), el cual presenta una precipitación por debajo de la hp* (lamina en déficit), las características mensuales de cada año son las siguientes:

Tabla 21- Datos Climatología Promedio.

Año	1988	PROMEDIO					
Mes	hp [mm]	T _{min} [°C]	T _{máx} [°C]	Humedad [%]	Viento [m/s]	Insolación [hrs]	Rad [MJ/m2/día]
Enero	2.6	0.2	21.4	64.0	1.8	10.8	20.1
Febrero	9.0	3.4	24.4	65.0	2.0	10.6	21.9
Marzo	40.0	6.0	24.1	63.0	2.2	12.4	26.8
Abril	32.2	8.0	27.7	65.0	1.9	11.9	27.6
Mayo	65.9	8.9	28.6	67.0	1.7	11.7	27.6
Junio	97.1	10.8	24.6	70.0	1.7	10.7	25.9
Julio	127.4	10.6	23.5	70.0	1.7	10.2	25.1
Agosto	155.2	10.0	25.0	69.0	1.7	10.6	25.5
Septiembre	86.7	8.0	22.6	72.0	1.7	9.1	22.3
Octubre	20.4	5.9	22.8	67.0	1.9	10.4	22.2
Noviembre	7.8	3.2	24.4	64.0	1.8	11.1	20.9
Diciembre	0.0	2.4	22.1	67.0	1.7	9.8	18.1
Promedio	53.7	6.4	24.3	66.9	1.8	10.8	23.7

Tabla 22 - Datos Climatología Desfavorable.

Año	1993	DESFAVORABLE					
Mes	hp [mm]	T _{min} [°C]	T _{máx} [°C]	Humedad [%]	Viento [m/s]	Insolación [hrs]	Rad [MJ/m2/día]
Enero	17.0	3.2	21.1	65.0	1.7	10.1	19.2
Febrero	11.0	3.4	22.6	64.0	1.9	11.0	22.5
Marzo	14.8	5.3	22.9	66.0	2.1	10.7	24.4
Abril	23.2	8.2	24.8	67.0	1.9	10.8	25.8
Mayo	35.4	8.8	24.0	69.0	1.7	10.5	25.8
Junio	82.3	10.2	22.9	72.0	1.7	9.4	23.9
Julio	74.0	9.2	21.4	73.0	1.6	9.1	23.4
Agosto	34.2	8.6	21.9	71.0	1.7	9.5	23.9
Septiembre	102.3	9.0	19.9	75.0	1.6	7.7	20.3
Octubre	2.8	7.0	20.6	71.0	1.9	8.9	20.1
Noviembre	14.5	4.5	21.5	66.0	1.6	10.1	19.7
Diciembre	0.0	1.7	22.1	63.0	1.6	11.3	19.9
Promedio	34.3	6.6	22.1	68.5	1.8	9.9	22.4

Los datos para el caso de humedad, insolación y radiación son estimadas por el software de la FAO, CROPWAT a través de su base de datos mundial, la elaboración de estas estimaciones se puede consultar en el manual técnico del programa. ^[13]

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, CONAGUA, México, 2010.
2. Aparicio, FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE
3. Sergio Ignacio Martínez Martínez, INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL, Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2ª ed, México 2011.
4. Carlos A. Sandoval Reyes, Lilia Reyes Chávez; TÉCNICAS ESTADÍSTICAS EN HIDROLOGÍA; 2ª ed.; México, UNAM – FI, 2008.
5. Servicio Meteorológico Nacional (SMN), México Climatological Station Network Data (CLICOM).
6. Paul Meylan, Anne-Catherine Favre y André Musy; PREDICTIVE HIDROLOGY – A FREQUENCY ANALYSIS APPROACH; USA; CRC Press – Taylor & Francis Group y Science Publishers, 2010.
7. Carlos A. Sandoval Reyes, Lilia Reyes Chávez; ANÁLISIS DE LA SEQUIA METEOROLÓGICA EN EL NORTE DE MÉXICO, Facultad de Ingeniería – UNAM, XXII – Congreso Nacional de Hidráulica, 2012.
8. D. Francisco Campos Aranda; AGROCLIMATOLOGÍA CUANTITATIVA DE CULTIVOS; México; Trillas; 2005.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

9. Simulador de flujos de agua en cuencas hidrográficas (SIATL), http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/index.html
10. International Water Management Institute (IWMI), <http://wcatlas.iwmi.org/Default.asp>
11. <http://ocw.usal.es/eduCommons/ciencias-experimentales/hidrologia/contenidos/03.Evapotranspiracion.pdf>
12. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html

5. TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

La reutilización en la agricultura de las aguas residuales tratadas es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a los eventos meteorológicos extremos recurrentes (sequías y heladas). Además de esto se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias. El estrés hídrico también se produce por las aguas residuales y el escurrimiento de las ciudades (gran parte de éstas aguas sólo se trata parcialmente), por los excesos de fertilizantes agrícolas y por otras causas de contaminación hídrica. Esta contaminación produce, entre otras cosas, la eutrofización de las aguas superficiales trayendo consigo la proliferación de algas. Además, la contaminación del agua empeora la escasez al reducir la cantidad de agua segura para el consumo humano. Los mismos factores provocan hipoxia (agotamiento del oxígeno) en los estuarios y aguas costeras, lo que afecta a la pesca y al resto de vida acuática e impactan de manera negativa en la integridad del ecosistema. Éste es un problema tanto para el medioambiente como para las economías locales que dependen del turismo y de la pesca. ^[1]



Figura 30 – Vertido de Aguas Negras - Valle de Tula, Hidalgo.

La escasez de agua tiene altos costos económicos, sociales y políticos. El costo de mitigar la crisis hídrica conlleva actualmente altas sumas de dinero en regiones tan diversas como California, España, norte de China y Australia. En tiempos de escasez extrema, las autoridades nacionales suelen optar por derivar el agua de los agricultores hacia las ciudades, dado que el agua tiene mayor valor económico en el uso industrial y urbano que en la mayoría de los usos agrícolas. En estas circunstancias, el uso de agua regenerada en agricultura permite conservar agua dulce para un fin de mayor valor económico y social, al mismo tiempo, los agricultores reciben un suministro de agua fiable y rico en nutrientes. Este intercambio también puede acarrear beneficios ambientales, al permitir la asimilación de los nutrientes de las aguas residuales por las plantas y reducir así la contaminación aguas abajo. ^[2]

Los proyectos de reutilización del agua pueden ofrecer un doble o incluso triple “dividendo”, para los usuarios urbanos, agricultores y el medioambiente. En situaciones críticas de estrés hídrico, el uso de agua regenerada debe considerarse como una opción. En dicho caso, la inacción, un escenario “sin proyecto”, implicará costos que irán aumentando con el tiempo, mientras que las soluciones alternativas, como trasvases de urgencia, pueden tener grandes costos por sí solas. Rechazar la opción de la reutilización podría ser muy costoso en dichas situaciones.^[2]

En los sistemas de tratamiento de agua residual se controlan las variables del sistema y se maximiza la rapidez de ocurrencia de los procesos minimizando el tiempo requerido para la purificación, las reacciones se completan en fracciones del tiempo y del espacio que se requerirían en los ecosistemas para conseguir la misma eficiencia.

En México, la Ley de Aguas Nacionales faculta a la Comisión Nacional del Agua para que, con base en los procesos naturales de purificación, determine los parámetros que deben cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de agua nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir.

Es común clasificar a las aguas residuales en dos tipos: industriales y municipales. En muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales. El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro.^[3]

5.1. LEGISLACIÓN EN MATERIA DEL AGUA

El artículo 92 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), modificado en 1996, establece que las autoridades deben promover, entre otras cosas, el tratamiento de las aguas residuales y su reúso, con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio. Por ello, uno de los criterios ecológicos establecidos por la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación consiste, precisamente, en que el aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir contaminación conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su uso en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas (artículo 117, fracción III).

En materia de reúso de las aguas residuales, el párrafo primero del artículo 128 dispone que las aguas residuales provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura si se someten en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las normas oficiales mexicanas emitidas por la Secretaría de Salud. *Y agrega el párrafo segundo del mismo precepto que, en los aprovechamientos existentes de aguas residuales en la agricultura, se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, la reglamentación de los cultivos y las prácticas de riego.*

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) es reglamentaria de los párrafos quinto y sexto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que establece la propiedad originaria de la

nación sobre las tierras y aguas, y expresa que el dominio de ésta sobre las aguas nacionales es inalienable e imprescriptible.

Son tres las normas oficiales mexicanas sobre la materia: NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997; su finalidad es prevenir y controlar la contaminación de las aguas y son de observancia obligatoria para los responsables de descargas. La **NOM-001-ECOL-1996** establece los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, mientras que la **NOM-002-ECOL-1996** establece los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. Por otra parte, la **NOM-003-ECOL-1997** establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

5.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS - LAGUNAS

En términos generales las lagunas se pueden clasificar como **lagunas de estabilización** si este es el primer paso de tratamiento de las aguas residuales, o como **lagunas de oxidación**, en caso de que las lagunas sean un paso posterior a otro previo proceso de tratamiento. Si la carga orgánica por unidad de área es demasiado alta y no existe aireación mecánica o inducida y el suministro de oxígeno es insuficiente para tener oxígeno residual, la **laguna es anaerobia**. Si la laguna es lo suficientemente profunda y existe una aireación inducida o natural solo para las capas superiores de agua, se tendrá una condición aerobia en la superficie de la laguna y anaerobia en el fondo de la misma, este tipo de **lagunas son llamadas facultativas**.^[10]

Si se suministra aire por agitación superficial o por inyección, se tendrá una laguna aireada. La aireación puede ser baja o intensa, por lo que se tendrá lagunas de mezclado parcial y de mezclado total. La diferencia entre estos dos tipos de aireación, es que a las lagunas de mezclado completo se les suministra una agitación tan intensa que los sólidos que inicialmente sedimentan se encuentran en suspensión en el proceso de digestión microbiana. En las lagunas de mezclado parcial, la agitación no es tan intensa, por lo que casi todos los sólidos se encuentran en el fondo del depósito y la aireación mecánica únicamente se efectúa en los estratos superiores de la laguna.

Dependiendo de las condiciones de oxigenación será la naturaleza del proceso. Si la aireación atmosférica o mecánica es insuficiente, por medio del proceso de fotosíntesis y con los nutrientes disponibles, se empieza a desarrollar una gran biomasa de algas, que cubre el estanque o fosa de oxidación. Estas algas consumen bióxido de carbono de la atmósfera y producen oxígeno, el cual es necesario para otros microorganismos aerobios que degradan la materia orgánica. Bajo estas condiciones, se crea una relación de simbiosis entre microorganismos de diferente tipo, que finalmente estabilizan la materia orgánica presente en las aguas residuales.^[10]

El gasto de aguas negras de diseño se obtiene como:

$$Q_{med} = \frac{A_p P}{86\,400} \quad \text{Ec. (48)}$$

$$Q_{min} = (0.5)Q_{med} \quad \text{Ec. (49)}$$

Donde: Q_{med} es el gasto medio de aguas negras en l/s ; Q_{min} el gasto mínimo de aguas negras en l/s ; A_p la aportación de aguas negras en $l/hab/día$, 75% de la dotación de agua potable y P es la Población en hab .

Los datos básicos son obtenidos de subcapítulo 2.2, recordando tenemos una **aportación de 112.50 l/hab/día** y un **gasto residual de 1501.43 m³/día**, al dividir entre 86.40 obtenemos el valor del **gasto medio 17.38 l/s** y dividiendo a la mitad obtenemos un **gasto mínimo de 8.69 l/s**.

El método de tratamiento seleccionado es combinado “*Laguna Anaerobia – Facultativas - Maduración*” ya que por cuestiones económicas para este caso es uno de los sistemas más viables, el costo de tratar 1 m³ de agua residual en lagunas es sólo a décima parte del costo de tratarlas en plantas convencionales.^[10] Las lagunas facultativas han sido ampliamente usadas por muchos años en el tratamiento de aguas residuales de origen municipal. Sus bajos costos de operación, la confiabilidad del proceso y los bajos requerimientos de mano de obra calificada para su operación son sólo algunas de las razones que explican la popularidad de este sistema de tratamiento.

La profundidad empleada en las lagunas facultativas varía de 1.2 a 2.4 m. El agua de las lagunas se encuentra estratificada, con una capa inferior anaeróbica, una capa superior aeróbica y una zona intermedia de transición. El oxígeno presente en la capa superior tiene su origen en la actividad fotosintética de las algas presentes en la zona fótica, o zona iluminada por la luz solar, y la reaeración superficial. Los sólidos en suspensión y las células de algas muertas se depositan en el fondo de la laguna donde se estabilizan anaeróticamente.^[3]

La generación de oxígeno por la actividad fotosintética está sujeta al ciclo diurno de insolación solar, presentándose altas concentraciones de oxígeno disuelto durante el día y bajas concentraciones durante la noche.

Para un óptimo funcionamiento las lagunas deben ser operadas en serie. Para la operación en serie, se pueden construir lagunas independientes separadas por bordos de tierra, o se puede encauzar el flujo del agua en una sola laguna con ayuda de barreras flotantes.

Es costumbre emplear lagunas facultativas sólo en los casos en que no exista riesgo de contaminación a los acuíferos, pues la impermeabilización artificial de las lagunas incrementa en forma desmedida su costo de construcción. El riesgo de contaminación de los acuíferos se elimina cuando el suelo es impermeable o moderadamente permeable, cuando el acuífero es confinado o profundo, o cuando los pozos de explotación del acuífero se encuentran alejados de las lagunas.

El talud de los bordos de las lagunas debe fijarse en función de las características específicas del suelo en cada caso; es costumbre emplear taludes de 3 horizontal por 1 vertical (3:1). Para prevenir la erosión de los bordos, así como la proliferación de plantas en las orillas de las lagunas, se recomienda el zampeado (suelo-cemento para afirmar terrenos falsos) de la zona de los bordos en la superficie de la laguna y operar en lo posible las lagunas a un nivel constante de agua.^[3]

La presencia de plantas en la zona de bordos puede dar lugar a plagas, roedores, arañas y mosquitos, problemas de salud pública asociados con lagunas facultativas mal operadas o mal construidas. El influente a las lagunas debe ser sometido previamente a un pre-tratamiento para la eliminación de arenas y material grueso. En casos excepcionales, cuando la concentración de sólidos suspendidos en el agua cruda es muy alta, se puede usar una sedimentación primaria, situación que no es frecuente en el caso de aguas residuales de origen doméstico. La sobrecarga orgánica de las lagunas puede llegar a crear condiciones continuas anaerobias, con los consecuentes problemas de olores.^[11]

Los criterios de diseño son empíricos y se efectúan a recomendaciones de los manuales de la CONAGUA, las características del agua municipal se presentan en la tabla 12 y se comparan con la tabla 11 para determinar el grado de tratamiento que se tendrá.

Tabla 23 - Características De Las Aguas Residuales Municipales.

Parámetro	Fuerte	Media	Débil	Muestreo	Conclusión
DBO 5	400	220	110	252.03	Fuerte
N-NH3	50	25	12	20.25	Media
N-org	35	15	8	11.77	Media
PO4	15	8	4	12.27	Fuerte
ST	1200	720	350	1,217.77	Fuerte
SST	350	220	100	218.87	Media
SDT	850	500	250	998.90	Fuerte

* Vázquez, González Alba Beatriz. "Apuntes de tratamiento de agua residual".

5.3. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Tabla 24 - Características Del Agua Residual De Estudio [Influente].

DBO	ST	SST	SDT	T _{min}	T _{max}	Ev	Ev	No	Q
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[°C]	[°C]	[mm/día]	[mm/día]	[NMP /100 ml]	[m ³ /día]
252	1218	219	999	12	18.1	3	15	1x10 ⁸	1501.43

DBO = cantidad de oxígeno necesario que las bacterias requieren para oxidar compuestos orgánicos biodegradables en aguas residuales en 5 días a 20° centígrados; ST = Sólidos Totales; SST = Sólidos Suspendidos Totales; SDT = Sólidos Disueltos Totales; Ev = Evaporación neta; No = Coliformes fecales.

Por lo tanto el agua residual a tratar se caracteriza como municipal fuerte, el diseño se basará en un sistema lagunar de maduración usando el *método de Maris*^{[10][11]}: al ser localidades de pequeñas áreas y población se considera que la población no varía estacionalmente (el gasto), además la dotación estimada de 150 l/hab/día es en base a la reglamentación, pero la mayoría de las veces esta es mucho menor, para poblaciones mayores se debe efectuar el diseño para ambas poblaciones, las condiciones meteorológicas son obtenidas del subcapítulo 4.3.

De la figura 26 observamos que la temperatura mínima promedio es de 2.1 °C presente en enero, pero también se observa que ese mismo mes la temperatura máxima es de 22.6 °C esto es una gradiente muy alto de cambio, la temperatura mínima se alcanza en la noche – madrugada pero durante el día se tienen condiciones óptimas de operación por lo que se decide usar la temperatura media mensual como la representativa.

Paso 1: Laguna anaerobia^{[9][10][11][12]}

Tabla 25 - Valores De Diseño Para Cargas Permisibles A Diferentes Temperaturas.

Temperatura	Carga volumétrica	Remoción DBO
[°C]	[g/m ³ día]	[%]
< 10	100	40
10 - 20	20T - 100	2T + 20

Temperatura [°C]	Carga volumétrica [g/m ³ día]	Remoción DBO [%]
> 20	300	60*

*MAPAS – CONAGUA

NOTA: T es para la temperatura del aire en el mes más frío; * Valores más altos pueden utilizarse si la experiencia local indica que esto es apropiado.

De la figura 26 se sabe que la temperatura mínima promedio se presenta en enero con un valor esperado de 12 °C (tabla 24), de la tabla 25 se calcula la carga volumétrica λ_v de diseño.

$$\lambda_v = 20(T) - 100 = 20(12) - 140 \frac{g}{m^3 \text{ día}}$$

El volumen de la laguna (V_a) está dado por la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{Li(Q)}{\lambda_v} = \frac{252(1,501.43)}{140} = 2,702.6 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. (50)}$$

El tiempo de retención hidráulico (θ_a) se calcula con:

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q} = \frac{2,702.6}{1,501.43} = 1.8 \text{ días} \quad \text{Ec. (51)}$$

El área de la laguna anaerobia (A_{Lan}) considerando una **profundidad de 3 m** es:

$$A_{Lan} = \frac{2,702.6}{3} = 900.9 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. (52)}$$

Considerando una relación largo/ancho(X) = 2, el ancho de la laguna (W) es:

$$W = \sqrt{\frac{900.9}{2}} = 21.2 \text{ m} \quad \text{Ec. (53)}$$

Entonces el largo (L) será: $L = (2)(21.2) = 42.4 \text{ m}$; las dimensiones finales serán de $21 \times 42 \text{ m}$, dando un **área corregida de 882 m²**.

La remoción de DBO para la estación fría está dada por la tabla 25

$$R_{FRIO} = 44\% \\ R_{CALIENTE} = 56.2\%$$

Aplicando estos porcentajes al DBO₅ obtenemos el DBO₅ del efluente de la laguna anaerobia, para la estación fría tenemos 141.1 mg/l y para la cálida 110.4 mg/l .

Paso 2: Lagunas facultativas ^{[9][10][11][12]}

La carga superficial de diseño (λ_s) está dada por:

$$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20} = 250(1.085)^{12-20} = 130.2 \frac{kg}{ha \text{ día}} \quad \text{Ec. (54)}$$

El área superficial (A_f) será:

$$A_f = \frac{10(Li)(Q)}{\lambda_s} = \frac{10(141.1)(1,501.43)}{130.2} = 16,273.6m^2 \quad \text{Ec. (55)}$$

Si se considera una profundidad de 1.2 m el volumen de la laguna es de $19528.32 m^3$, aplicando la ecuación 53 con una relación ancho largo de 5, se tiene que $W = 57 m$ y por lo tanto una longitud de $285 m$. El tiempo de retención hidráulico (θ_f) está dado por la siguiente ecuación y considerando una profundidad (Z) de 1.2 m (debido a la baja temperatura), un bordo libre de 0.9 m y la $Ev = 3 \text{ mm/día}$ (tabla 24):

$$\theta_f = \frac{2(A_f)(Z)}{2Q - 0.001(A_f)(Ev)} = \frac{2(16,273.6)(1.2)}{[2(1,501.43) - (0.001)(16,273.6)(3)]} = 13.22 \text{ días} \quad \text{Ec. (56)}$$

El gasto del efluente es:

$$Q_e = Q_i - 0.001(A_f)(Ev) = 1,501.43 - 0.001(16,273.6)(3) = 1,452.6 m^3/día$$

Paso 3: Lagunas de maduración o pulimento ^{[9][10][11][12]}

Para obtener el valor de k_T (constante global de decaimiento) se tiene la siguiente expresión:

$$k_T = 2.6(1.19)^{T-20} = 2.6(1.19)^{12-20} = 0.65 \text{ día}^{-1} \quad \text{Ec. (57)}$$

El tiempo de retención hidráulico θ_m se obtendrá de la ecuación 58 recordando que n es el número de lagunas de maduración, N_i el valor de coliformes fecales del influente; N_e el valor deseado de coliformes en el efluente y θ_a , θ_b , son los tiempos de retención hidráulico para laguna anaerobia y laguna facultativa respectivamente.

$$\theta_m = \frac{\left[\frac{N_i}{N_e(1 + k_T\theta_a)(1 + k_T\theta_f)} \right]^{1/n} - 1}{k_T} = \frac{\left[\frac{10^8}{10^3(1 + 0.65(1.8))(1 + 0.65(13.22))} \right]^{1/n} - 1}{0.65} \quad \text{Ec. (58)}$$

Resolviendo por medio de aproximaciones sucesivas para diferente número de lagunas de maduración se obtiene:

No. Lagunas Maduración	θ_m [días]
1	7388.9
2	105.1
3	24.4
4	11.3
5	6.8
6	4.8
7	3.6

No. Lagunas Maduración	θ_m [días]
8	2.9

Las primeras tres combinaciones son rechazadas por no cumplir con $\theta_m > \theta_f$, también se rechazan las combinaciones que no cumplan con un tiempo de retención hidráulico mínimo, que debe ser mayor a 3 días.

Se hace una comparación entre las opciones 4, 5, 6 y 7 y la opción de $\theta_m = \theta_m^{min} = 3 \text{ días}$ y $n=8$; el producto de la última (24) es más pequeño que todas las demás, por lo que es la seleccionada.

Verificando la carga superficial aplicada de la primera laguna de maduración obtenemos:

$$\lambda_{sm} = \frac{10(0.30)(252)(1.2)}{3} = 302.4 \frac{kg}{ha \text{ día}} \quad \text{Ec. (59)}$$

Comparando este valor con el 75% λ_s de la laguna facultativa se tiene un valor de $97.7 \text{ kg}/(ha \text{ día})$, el valor es mayor al λ_s de la laguna facultativa por lo que se toma $\lambda_{sm} = 97.7 \text{ kg}/(ha \text{ día})$, y se recalcula θ_m :

$$\theta_m = \frac{10(Li)(Z)}{\lambda_{sm}} = \frac{10(0.30)(252)(1.2)}{97.7} = 9.3 \text{ días} \quad \text{Ec. (60)}$$

Los nuevos tiempos de retención hidráulica en las subsecuentes lagunas de maduración se calcula con:

$$\theta_m = \frac{\left[\frac{Ni}{Ne(1+k_T\theta_a)(1+k_T\theta_f)(1+k_T\theta_m)} \right]^{1/n} - 1}{k_T} = \frac{\left[\frac{10^8}{10^3(1+0.65(1.8))(1+0.65(13.22)(1+0.65(9.3)))} \right]^{1/n} - 1}{0.65} \quad \text{Ec. (61)}$$

No. Lagunas Maduración	θ_m [días]
1	1047.5
2	38.6
3	12.0
4	6.3
5	4.1
6	3.0
7	2.4

$\theta_m = \theta_m^{min} = 3 \text{ días}$ y $n=3$; se escoge la cuarta opción por ser menor al producto de la condición mínima (9).

Para una profundidad de 1.2 m, el área de la primera laguna de maduración está dada por la ecuación:

$$A_{m1} = \frac{2(Qi)(\theta_m)}{2Z + 0.001(Ev)(\theta_m)} = \frac{2(1,452.6)(9.3)}{2(1.2) + 0.001(3)(9.3)} = 11,128.3 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. (62)}$$

Considerando una relación largo/ancho igual a 2 se calcula la longitud de la laguna tomando como base el ancho de la laguna facultativa para formar un muro común y abatir costos de obra, $W = 57$ m y L es igual a 114 m.

El gasto del efluente es de $1,452.6 - 0.001(11,128.3)(3) = 1,419.2 \text{ m}^3/\text{día}$.

De forma similar el área de la segunda laguna de maduración y su caudal de efluente son dados por la ecuación 62:

$$A_{m2} = \frac{2(1,419.2)(6.3)}{2(1.2) + 0.001(3)(6.3)} = 7,392.6 \text{ m}^2$$

Considerando una relación largo/ancho igual a 2 se calcula la longitud de la laguna tomando como base el ancho de la laguna de maduración 1, $W = 57$ m y L es igual a 114 m.

El gasto del efluente es de $1,419.2 - 0.001(7,392.6)(3) = 1,397.0 \text{ m}^3/\text{día}$.

Se resumen los cálculos en la siguiente tabla:

n	A_{mn} [m ²]	Q_n [m ³ /día]
1	11,128.30	1,419.20
2	7,392.58	1,397.02
3	7,277.06	1,375.19
4	7,163.34	1,353.70

Se asume una remoción acumulada de DBO filtrada del 90% en las lagunas anaerobias y facultativas ^{[3][10]} y 25% en cada una de las lagunas de maduración, el efluente final tendrá una DBO filtrada (no alga) de:

$$DBO_{\text{efluente}} = 252(0.1)(0.75^4) = 8 \text{ mg/l}$$

El cual es muy adecuado y cumple con la norma, el caudal del efluente es de **1,353.7 m³/día**, por lo que se pierde cerca del 11% (en época de frío) y en época de calor alrededor del 26 % (**1,11.06 m³/día**).

Tabla 26 - Resumen Proceso De Tratamiento De Aguas Negras.

LAGUNA	VOLUMEN [m3]	ÁREA [m ²]	θ [días]	DBO [mg/l]
ANAEROBIA	2702.6	900.9	1.8	141.1*
FACULTATIVA		16,273.6	13.22	25.2*
MADURACIÓN 1		11,128.3	9.3	18.9
MADURACIÓN 2		7,168.5	6.3	14.2
MADURACIÓN 3		6,625.4	6.3	10.6
MADURACIÓN 4		6,123.4	6.3	8.0

*DBO no filtrada

Los datos elevados de tiempo de retención hidráulica y la cantidad de lagunas necesarias, a pesar de que se tienen un gasto bajo, se deben a que la temperatura mínima de ambiente no es la más eficiente para llevar a cabo el tratamiento (zonas con clima tropical), una de las limitantes de este sistema es que si se presentan temperaturas frías la actividad anaerobia se paraliza prácticamente por debajo de 10°C [4][10][11], a manera de ejemplificar el proceso y la metodología más económica en el tratamiento de aguas residuales se presentó este ejemplo práctico; pero no por ello significa la solución definitiva, cada lugar tiene sus características y oportunidades para llevar a cabo el proyecto que más se adecue a sus necesidades.

Puesto que la carga admisible máxima aumenta con la temperatura, en el diseño se utiliza la aproximación más conservativa, para la cual se toma la temperatura media del mes más frío. Sin embargo, la carga máxima admisible calculada de esta forma daría lugar a una laguna que estaría en el límite de lo tolerable al menos durante los meses fríos. El esquema de diseño para este caso se muestra en la figura 31 (b) y en la (a) se pone el esquema del proceso considerando captura y utilización de biogás.

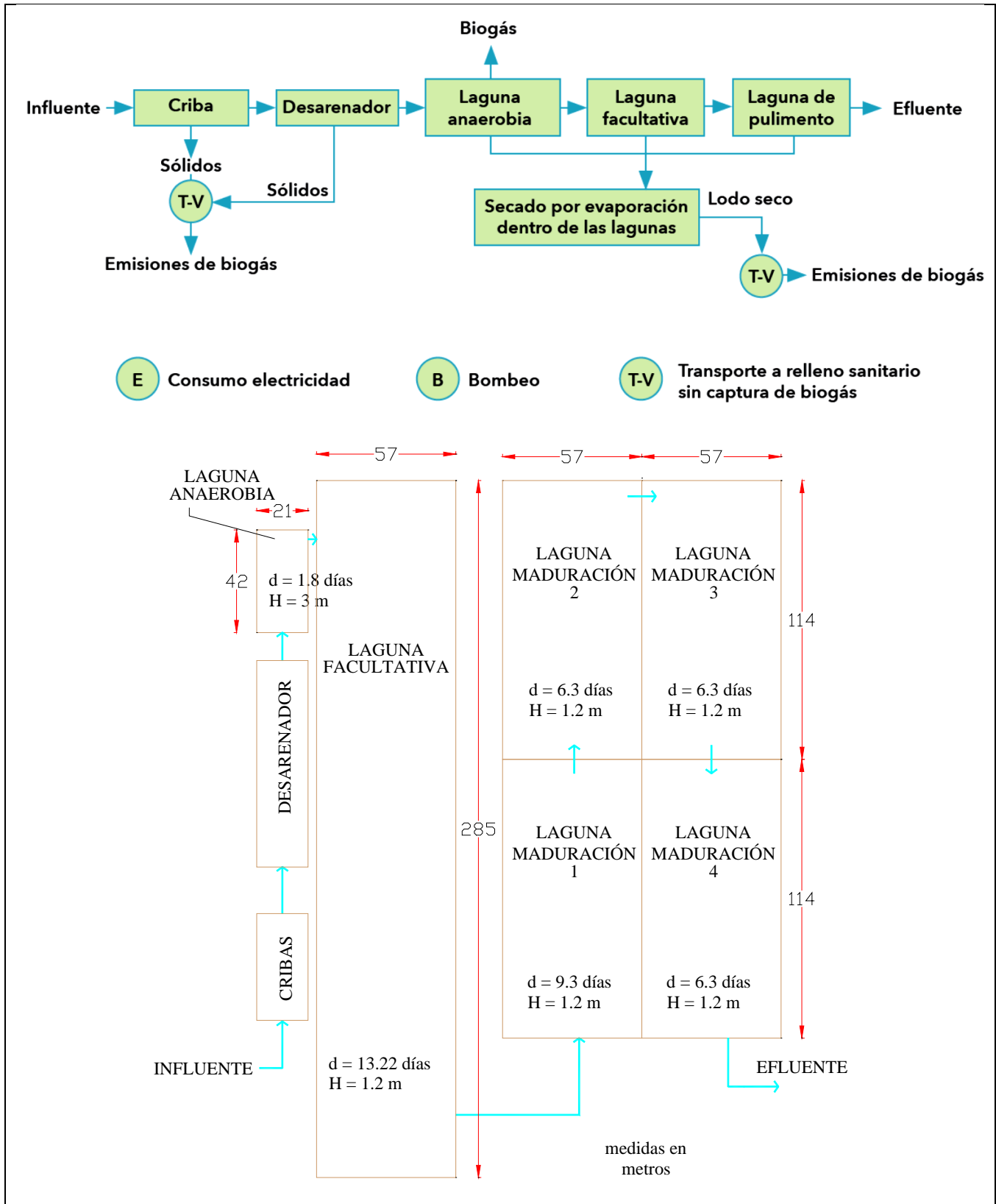


Figura 31 - (a) Esquema De Proceso De Tratamiento. [13], (b) Planta De Sistema De Lagunas.

BIBLIOGRAFÍA

1. SEMARNAT, ESTADÍSTICA DEL AGUA EN MÉXICO, México, SEMARNAT, 2011.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA: ¿BENEFICIO PARA TODOS? FASCICULO – 35, FAO, Roma, 2013.
3. Alba B, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, México, Universidad Nacional Autónoma de México – Facultad de Ingeniería
4. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).
5. Ley de Aguas Nacionales.
6. NOM-001-ECOL-1996
7. NOM-002- ECOL-1996
8. NOM-003-ECOL-1997
9. Romero Rojas, Jairo A., TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, 3ª ed., México, Alfaomega, 1999.
10. López Ruiz Rafael, AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y BIOSÓLIDOS, México, Facultad de Ingeniería – UNAM, 2003.
11. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO – DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN; CNA; MÉXICO; 2007.
12. Facundo Cortes M., Arnulfo Luévanos R., et al; DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN SERIE CON DIFERENTES CONFIGURACIONES (CASO COMARCA LAGUNERA ESTADO DE DURANGO, MÉXICO). Revista de Arquitectura e Ingeniería, Vol. 5, No. 3. 2011.
13. Adalberto Noyola, et. al; SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES – GUÍA DE APOYO PARA CIUDADES PEQUEÑAS Y MEDIANAS; UNAM – Instituto de Ingeniería, México; 2013.

6. DEMANDAS DE AGUA

El suelo es el principal almacén de agua y nutrientes que necesitan las plantas para su desarrollo, su alteración condiciona la productividad de los cultivos. Los efectos de la falta de agua en la fisiología de planta son numerosos y tienen que ver prácticamente con todos los aspectos de su vida. Tres ejemplos de dichos efectos fisiológicos, son los siguientes:

- 1) La fotosíntesis disminuye, esto probablemente por el cierre de las estomas.
- 2) La respiración aumenta; lo que junto con la baja en la fotosíntesis, determina un estado de desnutrición si persiste durante cierto tiempo.
- 3) Los dos efectos anteriores provocan que se tenga un crecimiento muy pobre de las células y por lo tanto de la planta; lo cual induce a una baja en la producción total de un cultivo.

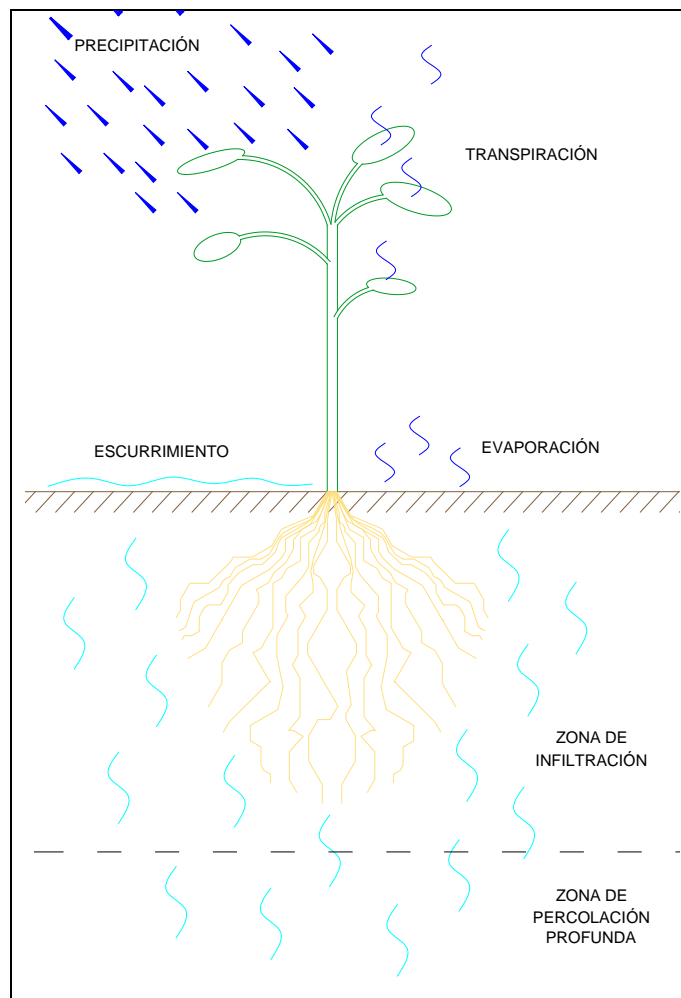


Figura 32 - Relación Agua Suelo.
*Elaboración propia

Desde el punto de vista práctico, el aspecto más importante para fines de riego, es la relación entre el agua y la producción agrícola. Conviene señalar que la producción de un cultivo puede descender por el "exceso de agua"; esto es, cuando un cultivo se inunda por varios días, o cuando el nivel freático es alto,

puede haber un descenso en la producción esperada por las alteraciones que se producen en el metabolismo de las plantas ^[1].

Cuando se aplica agua a un suelo (lluvia o riego) una parte escurre superficialmente y la otra se infiltra. Del agua que se infiltra, parte queda retenida en el suelo y la restante ("agua en exceso") se infiltra profundamente (ver figura 32).

Un factor muy importante en la absorción del agua por parte de las plantas, es la tensión con la que el agua se encuentra retenida en el suelo, dicha tensión depende de los factores fisicoquímicos del suelo y de la cantidad de humedad contenida en él. En otras palabras, el déficit de agua en el suelo condiciona la transpiración del cultivo y por ende la producción. En las tendencias actuales de riego, se recomienda emplear tensiones óptimas en cada cultivo, para definir el momento más adecuado de riego ^[1].

Como las fuerzas (cohesión-adhesión) que retienen el agua en el suelo son fuerzas de atracción superficial, entre más superficie (más arcilla y materia orgánica) tenga un suelo, mayor es la cantidad de agua retenida. La fuerza con la que el agua es retenida, se puede medir como la fuerza requerida para extraer el agua del suelo y es conocida como "tensión". Las fuerzas de retención son medidas comúnmente en bares de presión o atmósferas (1 atm. = 1.013 bar) o en alguna otra unidad equivalente (p.e. Joule/Kg, m de agua, etc.), recordar que 1 bar = 10 m de col. de agua = 100 J/kg.

6.1. ¿QUÉ SEMBRAR?

La recomendación general para contestar esta pregunta es hacer caso de la cultura de siembra de la región, ya que por historia conocen los cultivos que son resistentes a las variaciones climáticas que rigen en la zona, otro aspecto muy importante a considerar dentro de éstos es el mercado futuro de los productos a sembrar ya que esto garantiza la felicidad de venta de su producto y el pago adecuado para recuperar la inversión.

En base al conocimiento de la región (cultura de siembra, capítulo 2) y a una perspectiva futura del mercado se decide tener 3 cultivos dentro del predio **maíz amarillo, cebada maltera y trigo panificable**, además para el invernadero se propone la plantación de **tomate saladette**, . La información de mercado se puede obtener de diferentes fuentes oficiales como BANCO DE MÉXICO, SAGARPA- ASERCA, Chicago Board of Trade, CEFP, SIAD o de estudios privados.

Las rotaciones de cultivo deben estar diseñadas de tal manera que se puedan actualizar de acuerdo a los precios del mercado, la rentabilidad de la producción, el almacenamiento de la humedad del suelo u otros factores que influyan en la decisión del uso de diferentes cultivos ^[2].

Según sus proyecciones de SAGARPA ^{[8] [9] [10] [11] [12] [14]} el maíz blanco cuenta con una producción nacional que satisface la demanda total interna e inclusive, genera un superávit, mientras que el mercado del maíz amarillo registra un déficit debido a las demandas de la industria almidonera. El trigo es el segundo grano de mayor producción a nivel mundial después del maíz. Más del 60% de la producción mundial es utilizada para alimentación humana y su uso es cada vez más común en países en desarrollo de Asia y Latinoamérica, se prevé un fuerte aumento en los precios debido a que China abrirá sus puertas a la importación de trigo, la cebada maltera también presenta una fuente de mercado ya que las necesidades de la industria cervecera han venido en aumento.

A continuación se presentan una serie de graficas donde se muestra la estimación del tipo de cambio del peso mexicano frente al dólar (figura 33) y las perspectivas de precio al productor de los cultivos (figura 34):

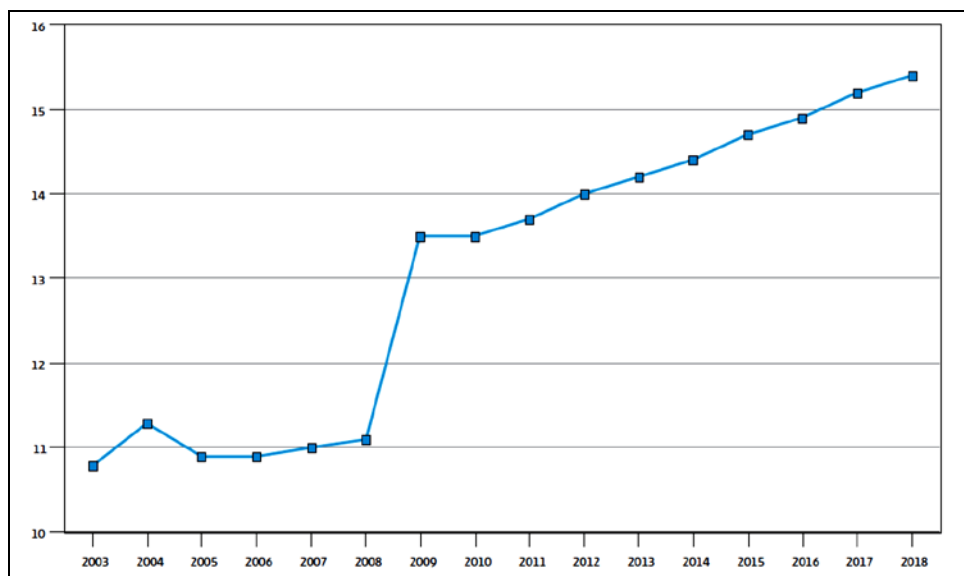


Figura 33 - Tipo De Cambio.
*SAGARPA – CAPEM 2009.

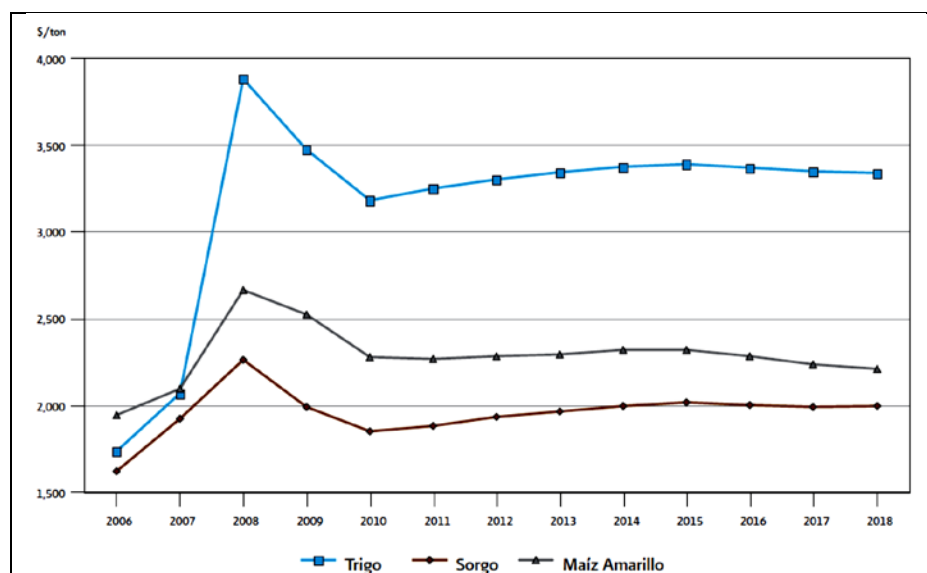


Figura 34 - Precio al productor de trigo, sorgo y maíz amarillo.
*SAGARPA – SFA 2009-2018.

De la información recabada en la SAGARPA – ASERCA, en base a proyecciones futuras y precios de la Bolsa de Chicago se obtienen los precios estimados de cada producto que se resumen en la siguiente tabla ^[14].

Tabla 27 - Datos Climatología Desfavorable.

Fecha	Primer cuatrimestre 2014		
Producto	Valor Estimado* (Dólares/t)	Valor de cambio** (1 Dólar a pesos)	Valor (Pesos/t)
Trigo	244	13.5	3294

Fecha	Primer cuatrimestre 2014		
Producto	Valor Estimado* (Dólares/t)	Valor de cambio** (1 Dólar a pesos)	Valor (Pesos/t)
Maíz	230	13.5	3105
Cebada	280	13.5	3780
Tomate	670	13.5	9045

*SAGARPA – ASERCA [12]; **BANCO DE MÉXICO [17].

Los rendimientos esperados así como las fechas recomendadas de siembra, según las experiencias de cultura son obtenidas de la página de gobierno del estado de México se enlistan a continuación:

Tabla 28 - Datos Rendimiento Y Siembra.

Producto	Fecha Siembra	Rendimiento Promedio (t/ha)
Trigo	Mayo - Junio	2 a 4
Maíz	Abril - Mayo	5
Cebada	Mayo - Junio	1.6 a 3.5
Tomate	Septiembre - Noviembre[a]	10 a 250
	Febrero - Marzo[b]	

* ICAMEX

6.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

En base a las condiciones de suelo señaladas en el capítulo 2 y la figura 15 se caracteriza el suelo como arenoso limoso con las siguientes características:

Tabla 29 - Datos Suelo.

Humedad de suelo disponible total (CC-PM):	120	mm/m
Tasa máxima de infiltración de la precipitación:	15	mm/día
Profundidad radicular máxima:	220	cm
Agotamiento inicial de humedad del suelo:	60	%
Humedad de suelo inicialmente disponible:	48	mm/m

La lámina almacenable por metro de profundidad se calcula en función de la capacidad de campo (CC), el punto de marchitamiento permanente (PMP) y la densidad aparente del suelo (Da), si se considera que a la CC la humedad aprovechable es 100% y al PMP es del 0%, entonces la lámina máxima que se puede aplicar es ^[1]:

$$Ha = \frac{CC - PMP}{100} (Da)(1000) = (24 - 14)(1.2)(10) = 120 \text{ mm/m} \quad \text{Ec. (63)}$$

Donde Da es igual a 1.2 gr/cm³.

El agotamiento inicial de humedad del suelo hace referencia al grado de humedad presente, si el suelo se encuentra a capacidad de campo, el agotamiento es 0% y si el suelo está seco el agotamiento es de 100%, con este porcentaje y multiplicándolo por la Ha se obtiene la humedad inicial disponible ^[1].

$$H_i = \frac{(100 - A_i)}{100}(HA) = \frac{(100 - 60)}{100}(120) = 48 \text{ mm/m} \quad \text{Ec. (64)}$$

6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se conoce como evapotranspiración (ET_0) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

Los únicos factores que afectan ET_0 son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_0 es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ET_0 expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método *FAO Penman-Monteith* se recomienda como el único método de determinación de ET_0 con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ET_0 de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes ^[4].

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{Ec. (65)}$$

Donde ET_0 es la evapotranspiración de referencia, mm/día; R_n la radiación neta en la superficie del cultivo, MJ/(m²día); G el flujo del calor de suelo MJ/(m²día); T la temperatura media del aire a 2 m de altura, °C; u_2 la velocidad del viento a 2 m de altura, m/s; e_s la presión de vapor de saturación kPa; e_a la presión real de vapor, kPa; $e_s - e_a$ el déficit de presión de vapor, kPa; Δ la pendiente de la curva de presión de vapor, kPa/°C y γ la constante psicrométrica, kPa/°C.

Las características de crecimiento de cada cultivo son extraídos de documentación de la FAO ^[4], tanto para condiciones normales, como condiciones de estrés hídrico.

Tabla 30 - Datos Cultivo Cebada Maltera.

Cultivo:	Cebada Maltera	Siembra:	25-may	Cosecha:	01-oct
Etapas:	<i>inicial</i>	<i>desarrollo</i>	<i>maduración</i>	<i>fin</i>	<i>total</i>
días:	40	30	40	20	130
kc :	0.3		1.15	0.25	
hr (m) :	0.1		1.5	1.5	
Agotamiento crítico :	0.55		0.55	0.55	
Factor respuesta rendimiento :	0.4	0.6	0.8	0.4	1

Cultivo:	Cebada Maltera	Siembra:	25-may	Cosecha:	01-oct
Etapa:	<i>inicial</i>	<i>desarrollo</i>	<i>maduración</i>	<i>fin</i>	<i>total</i>
Altura de cultivo (m) :			1		

*[4]

Tabla 31 - Datos Cultivo Trigo Panificable.

Cultivo:	Trigo panificable	Siembra:	25-may	Cosecha:	01-oct
Etapa:	<i>inicial</i>	<i>desarrollo</i>	<i>maduración</i>	<i>fin</i>	<i>total</i>
días:	40	30	40	20	130
kc :	0.3		1.15	0.4	
hr (m) :	0.1		1.5	1.5	
Agotamiento crítico :	0.55		0.55	0.55	
Factor respuesta rendimiento :	0.4	0.6	0.8	0.4	1
Altura de cultivo (m) :			1		

*[4]

Tabla 32 - Datos Cultivo Maíz Amarillo.

Cultivo:	Maíz amarillo	Siembra:	30-abr	Cosecha:	26-sep
Etapa:	<i>inicial</i>	<i>desarrollo</i>	<i>maduración</i>	<i>fin</i>	<i>total</i>
días:	30	40	50	30	150
kc :	0.42		1.2	0.6	
hr (m) :	0.1		1.5	1.5	
Agotamiento crítico :	0.55		0.55	0.55	
Factor respuesta rendimiento :	0.4	0.4	1.3	0.5	1.25
Altura de cultivo (m) :			2		

*[4]

Tabla 33 - Datos Cultivo Tomate Saladette.

Cultivo:	Tomate Saladette	Siembra:	01-mar	Cosecha:	02-ago
Etapa:	<i>inicial</i>	<i>desarrollo</i>	<i>maduración</i>	<i>fin</i>	<i>total</i>
días:	35	40	50	30	155
Kc :	0.6		1.2	0.8	
h_r (m) :	0.1		1.5	1.5	
Agotamiento crítico :	0.4		0.4	0.4	
Factor respuesta rendimiento :	0.34	0.45	0.81	0.36	1.05
Altura de cultivo (m) :			0.8		

*[4]

En las tablas se puede apreciar para cada cultivo su fecha de siembra (Tabla 30, 31, 32 y 33) recomendada por las condiciones del clima (capítulo 2, figura 26, 27, 28 y 29, tabla 18, 19, y 20) y la de cosecha en base al número de días del ciclo vegetativo del cultivo, Kc es el coeficiente del cultivo, el cual es adimensional y representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia. La variable h_r es la profundidad radicular, la cual es la profundidad que alcanza la raíz; el agotamiento crítico es la fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (HA) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés

hídrico y está en función del poder evaporante de la atmósfera, y varía de 0.30 (plantas con raíces poco profundas) a 0.70 (plantas de raíces profundas); el factor de respuesta de rendimiento describe la reducción relativa de la productividad en función a la reducción de la evapotranspiración del cultivo generada por la falta de agua ^[4]. Las demandas de agua que se muestran a continuación fueron calculadas con el apoyo del programa CROPWAT de la FAO ^[18] con los datos de suelo, clima y cultivo anteriormente descritos, para el caso del tomate saladette se hace la simulación con condiciones climáticas recomendadas (ver tabla 28) ^[15].

Tabla 34 - Datos Clima Invernadero.

Mes	T _{min} [°C]	T _{máx} [°C]	Humedad [%]	Viento [km/día]	Insolación [hrs]	Rad [MJ/m ² /día]	ETo [mm/día]
Enero	16	24	60	69	10.1	19.2	3.26
Febrero	16	24	60	69	11	22.5	3.89
Marzo	16	24	60	69	10.7	24.3	4.4
Abril	16	24	60	69	10.8	25.9	4.79
Mayo	16	24	60	69	10.5	25.7	4.84
Junio	16	24	60	69	9.4	24	4.6
Julio	16	24	60	69	9.1	23.5	4.52
Agosto	16	24	60	69	9.5	23.9	4.53
Septiembre	16	24	60	69	7.7	20.2	3.91
Octubre	16	24	60	69	8.9	20.1	3.68
Noviembre	16	24	60	69	10.1	19.6	3.35
Diciembre	16	24	60	69	11.3	19.9	3.22

Tabla 35 - Datos Clima Promedio.

Mes	T _{min} [°C]	T _{máx} [°C]	Humedad [%]	Viento [km/día]	Insolación [hrs]	Rad [MJ/m ² /día]	ETo [mm/día]	hp [mm]
Enero	3.2	21.1	65	147	10.1	19.2	3.12	2.6
Febrero	3.4	22.6	64	164	11	22.5	3.84	9
Marzo	5.3	22.9	66	181	10.7	24.3	4.31	40
Abril	8.2	24.8	67	164	10.8	25.9	4.82	32.2
Mayo	8.8	24	69	147	10.5	25.7	4.76	65.9
Junio	10.2	22.9	72	147	9.4	24	4.44	97.1
Julio	9.2	21.4	73	138	9.1	23.5	4.19	127.5
Agosto	8.6	21.9	71	147	9.5	23.9	4.26	155.2
Septiembre	9	19.9	75	138	7.7	20.2	3.52	86.7
Octubre	7	20.6	71	164	8.9	20.1	3.47	20.4
Noviembre	4.5	21.5	66	138	10.1	19.6	3.24	7.8
Diciembre	1.7	22.1	63	138	11.3	19.9	3.19	0

Tabla 36 - Datos Clima Adverso.

Mes	T _{min} [°C]	T _{máx} [°C]	Humedad [%]	Viento [km/día]	Insolación [hrs]	Rad [MJ/m ² /día]	ETo [mm/día]	hp [mm]
Enero	2.5	21.9	64	156	10.8	20.1	3.35	17
Febrero	3.2	21.5	65	173	10.6	21.9	3.69	11
Marzo	3.9	25.2	63	190	12.4	26.8	4.89	14.8
Abril	7.8	26.7	65	164	11.9	27.6	5.26	23.2
Mayo	9.3	26.8	67	147	11.7	27.6	5.32	35.5

Mes	T _{min} [°C]	T _{máx} [°C]	Humedad [%]	Viento [km/día]	Insolación [hrs]	Rad [MJ/m ² /día]	ET _o [mm/día]	hp [mm]
Junio	10.5	25.4	70	147	10.7	25.9	4.98	82.3
Julio	9.5	23.6	70	147	10.2	25.1	4.66	74
Agosto	9.3	24.4	69	147	10.6	25.5	4.74	34.2
Septiembre	10.2	23.4	72	147	9.1	22.3	4.13	102.3
Octubre	7.2	23.7	67	164	10.4	22.2	4.04	2.8
Noviembre	4.7	23.9	64	156	11.1	20.9	3.66	14.5
Diciembre	4.9	21.9	67	147	9.8	18.1	3.05	0

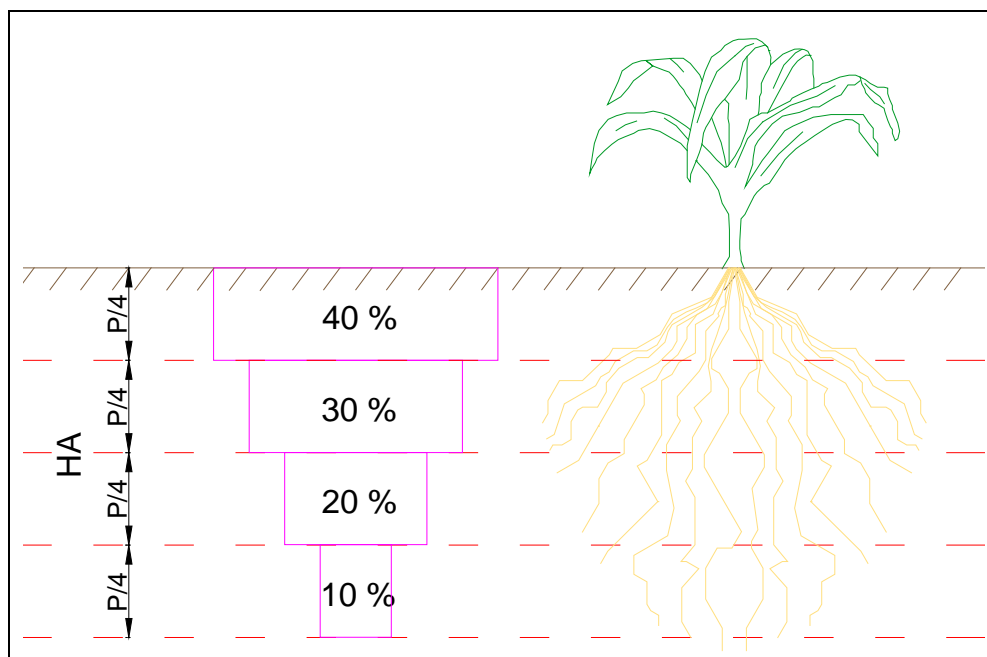


Figura 1 - Distribución de la Humedad Aprovechable.
*Elaboración propia con información de [2].

La precipitación efectiva se estima con el uso del método empírico FAO/AGLW, desarrollado por el servicio de aguas de la FAO, para climas semiáridos y subhúmedos, con el efecto combinado de la precipitación confiable (80% de la probabilidad de excedencias), las pérdidas estimadas debido al escurrimiento superficial y la percolación profunda, la fórmula es ampliamente respaldada por la FAO para su uso en diseño de proyectos agrícolas.

$$\begin{aligned}
 P_e &= (a)P_m - b \\
 \text{para } P_m &\leq z \text{ mm} \\
 P_e &= (c)P_m - d \\
 \text{para } P_m &> z \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{ 66 }$$

Donde P_e es la precipitación efectiva mensual en mm; P_m la precipitación media mensual; a , b , c , d y z son coeficientes de correlación, los cuales pueden ser estimados de un análisis de registros climáticos locales, para este caso se usa $a = 0.6$; $b = 10$; $c = 0.8$; $d = 24$ y $z = 70$ mm.

En la tabla 37 se presenta un resumen de las simulaciones efectuadas, bajo las condiciones descritas en las tablas 34, 35 y 36. En cuanto a políticas de riego se decide regar al 70% del agotamiento en

condiciones promedio ^[19] y regar al 50% del agotamiento bajo condiciones desfavorables, para poder simular las condiciones de una mayor temperatura y por lo tanto mayor evapotranspiración además de la presencia de fenómenos climatológicos extremos como las olas de calor (figura 28 y 29), las cuales para que la cosecha no se marchite y recupere la humedad requiere de mayores riegos.

Tabla 37 - Requerimientos De Riego.

Cultivo	Riego (mm)	P _e (mm)	Déficit Riego (mm)	Siembra	Cosecha	Eficiencia Campo (%)	Operación Riego [19]
<i>CONDICIONES PROMEDIO</i>							
Maíz amarillo	547.5	486.7	61.1	30-abr	26-sept	75	Regar al 70% del agotamiento, reponiendo el 100% de la capacidad de campo
Trigo panificable	382.9	441.1	-58.1	25-may	01-oct	75	Regar al 70% del agotamiento, reponiendo el 100% de la capacidad de campo
Cebada maltera	377.9	441.1	-63.1	25-may	01-oct	75	Regar al 70% del agotamiento, reponiendo el 100% de la capacidad de campo
Tomate saladette	643.2	0	643.2	01-mar	02-ago	90	Regar al 70% de agotamiento crítico, reponiendo al 100% de la capacidad de campo
<i>CONDICIONES ADVERSAS</i>							
Maíz amarillo	622.9	289.6	333.6	30-abr	26-sept	75	Regar al 50% del agotamiento, reponiendo el 100% de la capacidad de campo
Trigo panificable	436.2	276.9	159.4	25-may	01-oct	75	Regar al 50% del agotamiento, reponiendo el 100% de la capacidad de campo
Cebada maltera	430.3	276.9	153.6	25-may	01-oct	75	Regar al 50% del agotamiento, reponiendo el 80% de la capacidad de campo

De la tabla 37 se aprecia el impacto que pueden tener las variaciones climáticas en las demandas de agua, tras hacer un balance hídrico (columna de déficit) para ambas condiciones se tiene que el agua precipitada aprovechable en condiciones promedio o normales es suficiente para mantener los cultivos de trigo panificable y cebada maltera, pero no así para el maíz amarillo, teniendo una necesidad de lámina de riego de 61.1 mm, el agua no aprovechable contabiliza 121.2 mm. Para el caso climático adverso, en todos los cultivos se requiere riego dando un total de requerimiento de 646.6 mm. La suma de los requerimientos de agua, considerando el invernadero, son de 1289.8 mm para el caso climático adverso y 704.3 mm para la condición promedio, esto si no se aprovechan los excesos de agua en los otros cultivos o se capte el agua pluvial en el invernadero.

6.4. PROGRAMA DE RIEGO

Las fechas de siembra se obtienen en base a la información de cultura de siembra y recomendaciones de la SAGARPA, el gobierno estatal y el estudio hidrológico, las características del cultivo son obtenidas del manual de la FAO o de la SAGARPA, en la tabla 38 se puede apreciar el año agrícola caracterizado para México.

Cultivos cíclicos:

Otoño – Invierno: Octubre 1 a Septiembre 30

Primavera – Verano: Abril 1 a Marzo 31

Tabla 38 - Requerimientos De Riego.

AÑO j-1					AÑO j												AÑO j+1						
8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		
AÑO AGRÍCOLA j																							
SIEMBRAS (OTOÑO - INVIERNO) j-1/j																							
COSECHAS (OTOÑO INVIERNO) j-1/j																						CIERRE	
					SIEMBRA (PRIMAVERA - VERANO) j/j+1																		
										COSECHAS (PRIMAVERA - VERANO) j/j+1												CIERRE	

*Dirección de Integración Estadística, Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Una herramienta sencilla que puede ayudar a esta tarea el método gráfico en el cual se dibujan los días de cultivo contra el requerimiento de riego del cultivo ^[2]. Otro método un poco más elaborado pero es fácilmente ejecutado es la simulación de cultivos, la cual no solo dice que día regar sino también la producción esperada bajo diferentes políticas de riego y condiciones de riego, a diferencia también del método de Blaney - Criddle, este tipo de herramientas ayuda a mejorar el estudio de factibilidad técnica y económica para la selección de alternativas en la revisión o creación de zonas de riego ^[1]. Con el apoyo de la figura 36 se describe la metodología para hacer la simulación de un cultivo.

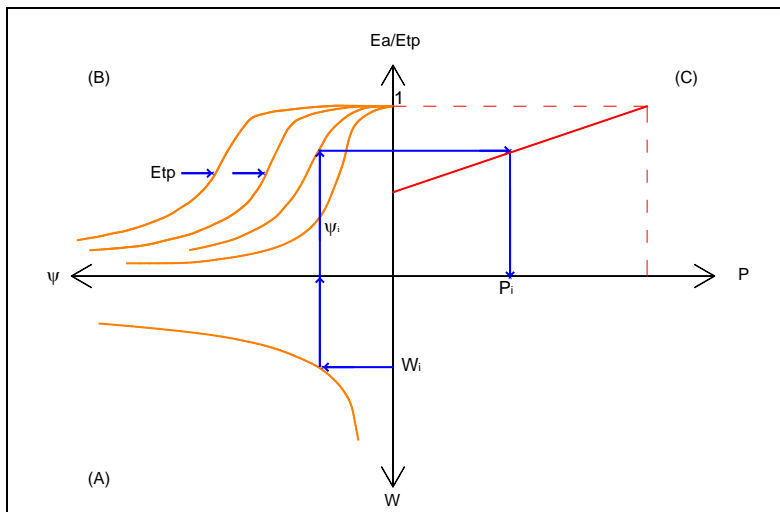


Figura 35 - Modelo De Flinn.

*Elaboración propia con información de [1].

Las variables más importantes que intervienen en el desarrollo de los cultivos se relacionan de la siguiente manera:

- a) Agua – suelo (cuadrante A). El agua en el suelo se toma en cuenta en función de la capacidad de retenerla. Esto es, se emplea la ecuación entre el contenido de agua y la tensión.
Se define tensión como la fuerzas de adhesión - cohesión que retienen al agua en el suelo (o potencial mátrico), esta fuerza tiene que ser superada por la planta para extraer el agua del suelo.
- b) Agua – suelo – clima (cuadrante B). Este triple efecto se representa empleando la relación entre la tensión de la humedad en el suelo y la evapotranspiración potencial.

$$Etp = kcE_0 \tag{Ec. (67)}$$

$\frac{Ea}{Etp} =$	$0 < Etp < 2 \text{ mm}$	$2 \leq Etp \leq 4.1 \text{ mm}$	$4.1 < Etp < 7 \text{ mm}$	Ec. (68)
	$\frac{1}{1 + \left(\frac{\psi}{4118 - 1613(Etp)}\right)^2}$	$\frac{1}{1 + \left(\frac{\psi}{1386 - 250(Etp)}\right)^2}$	$\frac{1}{1 + \left(\frac{\psi}{888 - 128(Etp)}\right)^2}$	

Donde Etp es la evaporación potencial [mm]; kc el factor de cultivo, Ea la evaporación real [mm] y ψ la tensión [J/kg].

- c) Producción (cuadrante C). La producción se obtiene considerando el desarrollo del cultivo; esto se hace a través de la relación entre las evapotranspiraciones potencial y real, con el factor diario de producción. Posteriormente se emplea este factor para calcular la producción final total.

$$P = 2 \left(\frac{Ea}{Etp} \right) - 1 \tag{Ec. (69)}$$

La producción final total del cultivo se calcula con la expresión:

$$Y = Y' \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{C_j}{N_j} \right) \sum_{i=1}^{N_j} P_i \right] \tag{Ec. (70)}$$

Donde Y es la producción final total en ton/ha; Y' es la producción máxima obtenida en condiciones óptimas de fertilización y humedad en ton/ha; C_j es el coeficiente de ponderación de la etapa j ; N_j el número de días de la etapa j ; j el índice para las diferentes etapas del ciclo vegetativo (emergencia, crecimiento, floración y madurez); P_i es el desarrollo para el día i en la etapa j , obtenida en la simulación; i el índice para representar los días de cada etapa del ciclo vegetativo y m la última etapa del ciclo vegetativo.

El coeficiente de ponderación (C_j), para toma en cuenta la importancia de cada etapa del ciclo vegetativo. Esto corresponde a la siguiente idea: “No será igual el efecto en la producción final, si el cultivo carece de agua (se le castiga) en una etapa del ciclo vegetativo que en otra”; por lo tanto C_j trata de tomar en cuenta la importancia de la disponibilidad del agua durante el ciclo vegetativo ^[1].

Tabla 39 - Requerimientos De Reigo.

Etapa	C_j
Germinación	0.05
Crecimiento	0.30
Floración	0.50
Madurez	0.15

* [1]

La secuencia de cálculo es:

- 1) Conocida la humedad inicial del suelo para el primer día de simulación (W_{i-1}), se calcula el valor de la tensión en el suelo (ψ_{i-1}) con la ecuación:

$$\psi = \frac{a}{W^b} + c \quad \text{Ec. (71)}$$

(Se puede calcular por otro método, no es el único)

Donde a , b y c son los parámetros de ajuste de la relación contenido de humedad (W) y la tensión (ψ).

- 2) Con la tensión antes calculada (ψ_{i-1}) y según el valor de Etp de la ecuación 67, se valúa Ea/Etp con la ecuación correspondiente (Ecuación 68)
- 3) Se calcula Ea sabiendo:

$$Ea_i = \left(\frac{Ea}{Etp} \right)_i Etp_i \quad \text{Ec. (72)}$$

- 4) Con el valor de Ea y la ecuación 69 se calcula P_i .
- 5) Se calcula la humedad inicial para el siguiente día de simulación, con:

$$W_i = \frac{L_i}{L(W_{cc} - W_{pmp})} + W_{pmp} \quad \text{Ec. (73)}$$

$$W_i = W_{i-1} - Ea_i + Y + d$$

Donde L_i es la lámina de agua, Y es la lluvia infiltrable y d la dosis de riego, si es que existieron, los términos de las ecuaciones deben ser homogéneos en sus unidades.

- 6) Con W_i repetir el cálculo desde el inciso 1) para el siguiente día.
- 7) Terminada la simulación para todos los días del ciclo vegetativo, emplear la ecuación 70 y determinar la producción final total.

Para el uso de la ecuación 70 también se deben considerar el rendimiento máximo probable del cultivo, para este caso se investigaron los rendimientos de semillas mejoradas mediante cruza selectivas que pudieran ser cultivadas en el Valle de México, siendo estas aptas para altitudes altas, temperaturas medianamente bajas y altas, déficit hídrico y plagas, encontrando los siguientes datos:

Tabla 40 - Rendimientos De Cultivos (Literatura).

Cultivo	Variedad Semilla	Rendimiento propuesto [t/ha]	Rendimiento Máximo [t/ha]	Rendimiento típico* [t/ha]	FUENTE
Maíz Amarillo	H-50, H-48 o H-40	12	15 a 18	2 a 5	SAGARPA [20] [21]
Trigo Panificable	Villa Juárez F2009 o RSMF7CJ-62	7	8.3	2 a 5	CIMMYT; Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas [22] [23] [24]
Cebada Maltera	Alina	8	11.3	2 a 8	Revista Agricultura Técnica en México [25] [26]
Tomate	IR 17 o IR9	40	50	15 a 40	SAGARPA [27] [28] [29]

Cultivo	Variedad Semilla	Rendimiento propuesto [t/ha]	Rendimiento Máximo [t/ha]	Rendimiento típico* [t/ha]	FUENTE
Saladette (Invernadero)					

*De Las Diferentes Variedades De Semilla, Es Un Promedio Regional.

La simulación se efectuó bajo las políticas y características descritas en la tabla 37 pero con la información diaria, a fin de tener mejor precisión en los resultados. Del criterio del USBR para evaluar la precipitación infiltrable o aprovechable se caracteriza al suelo como *tipo B* (arenas finas – limo), con un *Número de curva de 78* y los factores de corrección del número de curva $A=0.78$ y $B=1.15$, las constantes usadas para la ecuación 60 son $a=7.08 \times 10^8$, $b= 5.1$ y $c=-170$, de ninguna forma estos valores deben tomarse para realizar otros cálculos ya que fueron obtenidos de forma empírica, los valores representativos de una zona deben estar dados por pruebas de laboratorio.

Tabla 41 - Simulación De Rendimientos De Cultivos (Condición Promedio).

Cultivo:	Maíz Amarillo	Trigo Panificable	Cebada Maltera	Tomate Saladette	UNIDAD
Lamina de riego:	270.00	180.00	180.00	630.00	mm
No. Riegos:	3	2	2	7	
Lamina de precipitación:	553.40	535.58	535.58	0.00	mm
Lamina no aprovechada:	477.41	405.19	405.19	0.00	mm
Producción Final:	11.40	6.77	7.77	36.50	t/ha

Tabla 42 - Simulación De Rendimientos De Cultivos (Condición Desfavorable).

Cultivo:	Maíz Amarillo	Trigo Panificable	Cebada Maltera	UNIDAD
Lamina de riego:	468.00	216.00	216.00	mm
No. Riegos:	4	2	2	
Lamina de precipitación:	401.11	369.03	369.03	mm
Lamina no aprovechada:	396.25	374.48	374.48	mm
Producción Final:	10.01	6.29	7.24	t/ha

De la tabla 41 y 42 podemos observar la diferencia de cantidad de agua demandada en el ciclo primavera - verano, que aunque para la Cebada maltera y el Trigo panificable son el mismo número de riegos, la cantidad es una diferencia de 20%, mientras que para el Maíz amarillo es de 42%, también se destaca que bajo el supuesto de cumplir las demandas de agua requerida se tiene un menor rendimiento, 12% menos para el Maíz amarillo, 7% menos para el Trigo panificable y 6.8% menos para la Cebada maltera, por ello se debe hacer una buena selección de las semillas buscando las que mejor resistan las condiciones climáticas adversas además de controlar adecuadamente los riegos, del mismo modo se debe efectuar la simulación de las condiciones para el ciclo otoño – invierno para los cultivos que se tenga planeado sembrar, se recomienda rotación de cultivos para evitar el desgaste acelerado del suelo y para asegurar un buen mercado, en este trabajo no se plasman dichas simulaciones por ser un caso práctico de ejemplo.

Sin duda alguna la utilidad de la simulación de cultivos es clara, al precisar más a detalle la oportunidad de riego, la producción para diferentes políticas de riego o regímenes de lluvia; en esta

ejemplificación de la simulación solo se está usando el ciclo de siembra primavera – Verano, pero es claro que se puede hacer uso de las tierras en el siguiente ciclo de siembra, Otoño – Invierno, donde se debe llevar a cabo prácticas de rotación de cultivos para diversificar la producción, asegurando la sostenibilidad del suelo promoviendo cultivos que se alternen en temporada o año con año para que las condiciones y fertilidad del suelo se mantenga y reduzca los niveles de erosión eólica e hídrica, cabe recordar que toda rotación debe satisfacer las necesidades de los productores, mercado y ajustarse a la disponibilidad de recursos^[13], dentro de esta práctica también se puede llevar a cabo el uso del material de desperdicio de la cosecha usarlo para alimento de ganado o como abono para la tierra regresando valiosos nutrientes al suelo que ayudaran a las tierras sigan siendo productivas, en este caso dada la baja precipitación registrada en la época Otoño – Invierno y la presencia de heladas se recomienda el uso de semillas mejoradas que resistan mejor las bajas temperaturas y no demanden mucha agua, siembra de pastos para ganado, otros productos que son menos susceptibles y no consumen mucha agua son la Col. Rábano, remolachas, rábanos, coliflor, brócoli, apio, calabaza de invierno, guisantes, zanahoria entre otros. También debe tener cuidado con las actividades de labranza y preparación del terreno ya que una actividad intensificada de laboreo manual o mecaniza impacta negativamente al suelo ya que se agravan los procesos erosivos, es por ello que se recomienda que el terreno se deje grumoso o con guijarros de tamaño medio a pequeños para que el viento no tenga un impacto tan fuerte a comparación de un suelo que se labro hasta dejarlo fino, dejándolo expuesto a que la humedad se pierda fácilmente y el aire lo erosione más intensamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gracia Sánchez J; INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ZONAS DE RIEGO Y DRENAJE; Instituto de Ingeniería - UNAM; Serie Blanca CI-26; Noviembre 2002.
2. Cisneros Almazán R.; APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Facultad de Ingeniería; 2005.
3. Colegio de Postgraduados; ESTIMACIÓN DE DEMANDAS DE CONSUMO DE AGUA; SAGARPA.
4. Smith Martin, et al; EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO – GUÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS; FAO No. 56; Roma, 2006.
5. Trezza Ricardo; MANUAL CROPWAT PARA WINDOWS; FAO
6. INAFAP; POTENCIAL PRODUCTIVO DE ESPECIES AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN MÉXICO; SAGARPA, 1º ed.; México 2012.
7. Cavazos Cavazos A.; PRINCIPALES INDICADORES DE LOS PRINCIPALES INDICADORES PRECIOS DE LOS CULTIVOS BÁSICOS EN EL MERCADO MUNDIAL Y DE LOS ALIMENTOS BÁSICOS EN EL MERCADO NACIONAL A MARZO DE 2013; Secretaria de Desarrollo Social – Nuevo León; México Monterrey; abril 2013.
8. SAGARPA; MONITOR DE PRECIOS AGROPECUARIOS – MAÍZ GRANO; Subsecretaria de Fomento a los Agronegocios; México 2010.
9. SAGARPA; MONITOR DE PRECIOS AGROPECUARIOS – TRIGO DURO Y SUAVE; Subsecretaria de Fomento a los Agronegocios; México -2010.
10. ASERCA; REPORTE SEMANAL DEL MERCADO AGROPECUARIO INTERNACIONAL; SAGARPA; México, Septiembre 2013.
11. ASERCA; REPORTE DIARIO DE PRECIOS A FUTURO – BOLSA FUTURO DE CHICAGO; SAGARPA, México 2013.
12. ASERCA; CIERRE DEL MERCADO DE FUTUROS – CHICAGO BOARD OF TRADE; SAGARPA; México, Septiembre 2013.
13. Colegio de Post Graduados; ROTACIÓN DE CULTIVOS; SAGARPA; México.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

14. ASERCA; Reporte Diario De Precios A Futuro ; <http://www.infoaserca.gob.mx/PrecYProd.asp>
15. Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX); http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/agricola/index.htm
16. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP); <http://www.cefp.gob.mx/>
17. Banco de México (BANXICO); <http://www.banxico.org.mx/>
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
19. <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-9/NECESIDADES-NETAS.pdf>
20. http://www.revistaciencias.unam.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=209%3Ael-potencial-de-las-variedades-nativas-y-mejoradas-de-maiz&catid=41&Itemid=48
21. <http://www.firco.gob.mx/POTTransparencia/Documents/Estudios/9-EvaluaciondeResultados-PROEMAR2009.pdf>
22. <http://trigomexico.cimmyt.org/?tag=roya>
23. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo3.htm>
24. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263124770004.pdf>
25. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172009000100002&script=sci_arttext
26. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n4/v35n4a12.pdf>

27. <http://intranet.uat.edu.mx/cienciauat/ediciones/Edici%C3%B3n%20No.%202016,%20Junio%202010/Producci%C3%B3n%20de%20tomate%20sistema%20hidrop%C3%B3nico%20con%20soluci%C3%B3n%20nutritiva%20reciclable%20en%20sustrato%20de%20Tezontle.pdf>
28. [http://www.uaaan.mx/agraria/attachments/article/74/Revista_Agraria_Vol\(9\)_No\(3\)_A2.pdf](http://www.uaaan.mx/agraria/attachments/article/74/Revista_Agraria_Vol(9)_No(3)_A2.pdf)
29. <http://intranet.cibnor.mx/personal/bmurillo/docs/inteligencia-mercado-tomate.pdf>

7. INVERNADERO

La constante necesidad de mejorar la producción y la calidad de los cultivos, además de disminuir los riesgos de pérdida han llevado a evolucionar las técnicas y procesos de cultivación, llevando esta búsqueda al desarrollo de las unidades llamadas invernaderos o casas sombra, ya que representa una alternativa de ofrecer protección contra las condiciones adversas del clima, una mejor calidad y mayores rendimientos a la producción. Un invernadero es una unidad para la producciones fuera de temporada, aumentar los rendimientos, acortar los ciclos vegetativos de las plantas, mejorar la calidad de los cultivos mediante una atmósfera interior artificial y controlada.

Sus beneficios han masificado su uso en la agricultura porque permiten obtener una producción limpia, trabajar en su interior durante los días lluviosos, desarrollar cultivos que necesitan otras condiciones climáticas y evitar los daños de roedores, pájaros, lluvia o el viento. También produce una economía en el riego por la menor evapotranspiración, por lo tanto, es una de las actividades que dentro del sector primario tiene un auge muy importante, llegando a ser detonante en la economía de los países y en la economía de aquellos que están inmersos en esta actividad. Además los sistemas modernos de agricultura tienen una importancia ecológica de suma importancia ya que permiten un uso racional del agua y, por la protección que ofrecen, reducen en gran medida la utilización de pesticidas tóxicos que dañan el ambiente, los mantos acuíferos y la salud humana.

Las ventajas de la agricultura protegida son significativas en comparación con la explotación a cielo abierto, ya que los rendimientos pueden incrementarse de manera gradual, con una mayor seguridad en la inversión realizada. En una agricultura tradicional un productor de tomate llega a producir en promedio 75 toneladas al año por hectárea con una gran cantidad de agua utilizada y desperdiciada por evaporización e infiltración. En invernadero es posible producir más de 200 toneladas por hectárea aprovechando al máximo el agua, esto, siempre y cuando los productores utilicen la tecnología adecuada y tengan los conocimientos necesarios, el desarrollo de esta actividad tienen un impacto positivo en la economía de los agricultores, incentiva la obtención de mejores y mayores ingresos, al tener una producción continua durante la mayor parte del año, con mayor calidad y competitividad ^[2].

Su construcción es simple, basta una estructura de soporte de madera o metal y una cubierta que puede ser polietileno transparente, policarbonato o vidrios, que lo cubrirá por los cuatro costados y el techo. Así retiene y mantiene en su interior una buena parte de la temperatura que se produce por el calor del sol o por estufas.

Los invernaderos requieren un sistema para regular la ventilación, la humedad y la temperatura interior. Precisan, asimismo, de una mayor especialización en el manejo de las plantaciones, debido a que las plagas y enfermedades encuentran mejores condiciones para su desarrollo, debido a la humedad y la temperatura. Esto se soluciona con un control adecuado de ellas. En climas fríos es necesario que el invernadero cuente con una doble cubierta de polietileno, con las láminas separadas entre sí por 7 a 10 cm. Esto permitirá que la cámara de aire que se produce entre ellas actúe como aislante para conservar el calor. La cubierta exterior requiere de un material más grueso (0,15 o 0,20 mm) y con protección Anti UV (Rayos Ultravioletas), polietileno de dos temporadas. En cambio, para los interiores basta con uno delgado (0,06 mm) ^[4].

7.1. UBICACIÓN

La ubicación del invernadero es un factor muy impórtate ya que de él depende el éxito y se asegura una menor inversión en su construcción, protección y mantenimiento, para elegir el terreno donde se va a instalar el invernadero, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de agua de riego en cantidad y calidad.
- Elegir suelos nivelados con buen drenaje, libres de posibles anegamientos.
- Existencia de caminos de acceso todo el año para la salida de los productos. En lo posible, lejos de los caminos y zonas polvorientos, debido a que el polvo se deposita en los techos disminuyendo el paso de luz al interior, además de contaminar las hojas y frutos.
- Contar con mano de obra en la vecindad.
- Conexión a la energía eléctrica para el bombeo del agua de riego y la iluminación.
- Evitar zonas de mucha neblina por su menor luminosidad.
- No ubicarlo junto a la sombra de árboles muy altos, ni donde lleguen sus raíces.
- Cuidarse de los suelos bajos donde existan napas freáticas altas.
- Estar protegido de vientos fuertes que puedan dañar la cubierta de polietileno.

Muchas veces la pendiente del terreno (topografía) decide la orientación de la nave, en los suelos planos es importante considerar la dirección de los vientos predominantes, debiendo orientarla hacia aquella que presente menos resistencia. Cuando las naves se construyan con abertura, ésta debe quedar orientada a favor de la brisa suave, para facilitar la ventilación. La más usual es norte-sur para aprovechar mejor la luz solar.

La temperatura es uno de los factores más importantes en el desarrollo de las plantas. Cuando hay heladas se producen daños en los tejidos de las plantas, para prevenirlas, es conveniente que el invernadero tenga doble cubierta y pueda quedar perfectamente cerrado para evitar el frío durante las noches. Lo mismo ocurre cuando el rocío sobre las plantas se evapora muy rápido, a la salida del sol, y la temperatura ha bajado de 0° C. Esto se previene cuidando que no se moje la parte aérea de la planta al regar y con una buena ventilación del invernadero. Así se evita que la evapotranspiración sature la atmósfera interior y se humedezca el follaje.

En la pérdida del calor por irradiación la temperatura del interior del invernadero, almacenada durante el día, baja en la noche. Este tipo de heladas se presenta en noches despejadas, sin vientos y con baja humedad relativa en el aire. Se evita utilizando polietileno térmico en la cubierta. Este conserva algunos grados más de temperatura por ser menos permeable a los rayos infrarrojos de onda larga. Cuando el costo de los cultivos y cosechas lo justifique es conveniente, además, contar con equipos calefactores que produzcan una buena distribución del calor y que no provoquen contaminación por acumulación de gases.

7.2. ESTRUCTURA

Es bueno conocer las condiciones que exigen la instalación de un invernadero, las diversas estructuras y los plásticos para la cubierta, el tipo y estado de la estructura. Por ejemplo, las de fierro necesitan estar pintadas de color blanco para evitar que se calienten demasiado y corten el polietileno. Además se protegen del óxido. La madera debe ser seca para que no se doble y, en el caso del pino, evitar que las resinas afecten al polietileno, los cantos de las piezas de madera deben ser suaves, sin asperezas, en las zonas de contacto con la lámina de polietileno, para que no la rompan, en otras

palabras, que estén bien cepillados al igual que las tablas que lo fijan sobre la estructura. El polietileno no debe quedar suelto ni excesivamente tirante, al momento de su colocación y fijación sobre la estructura.

Proteger el invernadero con cortinas cortavientos, en las zonas de fuertes vientos. Evitar el contacto de los productos fitosanitarios con el polietileno. Vigilar permanentemente el estado del plástico. Si se detecta alguna rotura, parchar de inmediato con una cinta especial, para evitar que se siga rasgando.

Según la literatura consultada la altura recomendada, sobre todo para el cultivo del tomate que es nuestro caso de estudio, es aquella que alcance los 3.7 a 4.3 metros ya que en estas condiciones se logra un mejor desarrollo de los cultivos altos, si bien se necesitara una mayor calefacción interior, el calor se conservará por más tiempo. ^[1, 2, 3 y 4]

Para zonas con corrientes de aire muy frías es altamente recomendable instalar cortinas cortavientos, ya sea con mallas o maderas a fin de proteger el polietileno y evitar los descensos de temperatura al interior de la estructura.

Aquellos invernaderos con longitud igual o mayor a 30 m conviene diseñarlos con abertura cenital, con su respectivo sistema de cierre y apertura, en este caso la apertura cenital debe estar orientada en sentido contrario a la dirección del viento (figura 37). En cambio en invernaderos de menor longitud la ventilación puede efectuarse a través de ventanas ubicadas en la parte alta del frente y del fondo. Las paredes de los invernaderos deben estar fijos solo en la parte superior para poder levantarlos desde abajo en las horas de calor y provocar una corriente de aire ascendente a las ventanas altas, para mantenerlos cerrados se usa tierra para fijarlos en la parte inferior.



Figura 36 - Abertura cenital (Izq), Ventilación lateral en horas de calor (Der).

*Elaboración propia con información de []

Al techo de los invernaderos se les da bastante pendiente (30%) para facilitar que las gotas de agua producto de la evapotranspiración caigan a los lados, evitando así el desarrollo de enfermedades en los vegetales. Para lograr los mejores manejos es fundamental contar con una instalación que incluya un mecanismo para incorporar los fertilizantes. ^[1]

La estructura puede ser constituida de perfiles metálicos o tubos redondos, de madera y alambre e incluso de hasta tubos de PVC o concreto, la decisión de cual emplear radica principalmente en el presupuesto disponible. Existen varios diseños para los invernaderos, entre ellos está la estructura A, los de arco (simple o gótico), de dientes de sierra y los de techo con abertura parcial (figura 38).

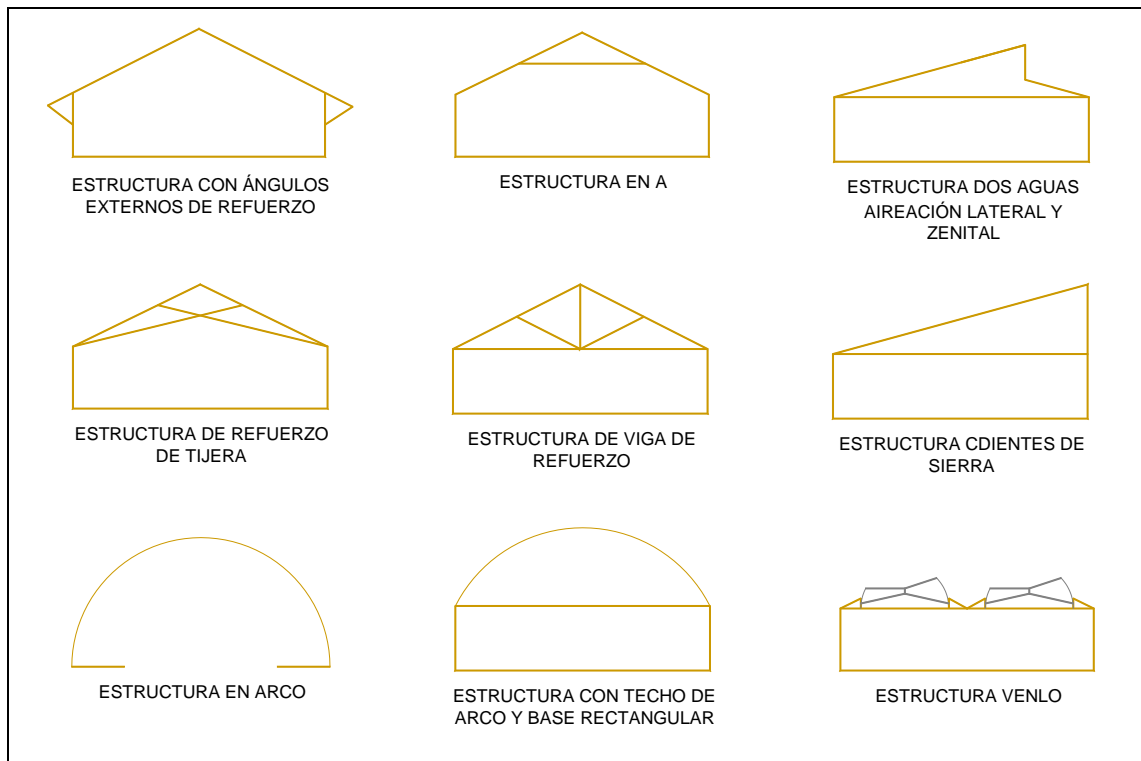


Figura 37 - Estructuras invernadero.
*Elaboración propia con información de [1 y 2].

La estructura de Arco es la más económica, el perfil del techo es una simple curva. La inclinación del arco permite una transmisión uniforme de la luz y disminuye la condensación interior. Se puede hacer de polietileno simple, doble polietileno, policarbonato o vidrio. Las estructuras pueden ser ventiladas natural o mecánicamente. Las paredes pueden ser la bóveda misma o invernaderos con arco con paredes verticales que proporcionen más espacio sin necesidad de canaletas adicionales, los anchos normales suelen ser de 6, 9 y 11 m.

Las estructuras en A consisten en una techumbre inclinada de dos aguas, se equipa fácilmente con ventilas en el techo. El material para cubrir la estructura en A usualmente es policarbonato, acrílico o vidrio, el polietileno doble raramente es empleado.



Figura 38 - Polígono De Invernadero, Unidades En Metros.
*Elaboración Propia.

En la estructura de dientes de sierra el techo está inclinado sólo hacia un lado, y posee otro lado vertical, arriba de la canaleta. Las estructuras Venlo son de diseño europeo (holandés), hecho con dos a cuatro puntas pequeñas por bahía, con una viga fija en los postes de las canaletas, que van espaciadas cada 3 o 4 metros. La estructura está hecha para cubrirse con vidrio o policarbonato, utiliza ventilación natural a través de unas ventilas en cada techo inclinado, lo que proporciona una adecuado movimiento de aire.

La forma del techo influye en la cantidad de luz que entra al invernadero. La forma de arco es la más efectiva, sin embargo el sistema más difundido es el de dos aguas debido a la facilidad de construcción. De esta forma para el caso de estudio se tienen un área de 12 ha para establecer el invernadero, se decide usar una estructura de arco con paredes verticales a base de polietileno, con altura de 3.7 metros, anchos de 9 metros y longitudes de 730 a 630 metros, teniendo un total de 21 naves, como la dirección del viento es predominantemente de norte a sur y noreste a sureste, las ventilas se instalaran con abertura opuesta a estas direcciones.

Respecto a los aditivos algunos plásticos incorporan aditivos que modifican longitudes de onda específicas. Se ha demostrado que cambian la altura de varios tipos de plantas de flores, sin necesidad de reguladores químicos. La cantidad de luz roja que recibe la planta puede incrementar o disminuir su altura final. El concepto del manejo de un color específico de luz abre muchas nuevas oportunidades para manipular el crecimiento de las plantas mediante las cubiertas de los invernaderos.

La capacidad aislante de las cubiertas principales de si es aplicada en una capa o dos. La cubierta con dos capas puede aislar contra la pérdida de calor mejor que una sola capa. Durante la estación fría, una cubierta doble requerirá menos energía solar durante el día y menos calefacción durante la noche para mantener la temperatura interior del aire.

Los invernaderos, como unidades herméticas para reducir los costos de calefacción, contribuyen a condiciones de humedad en su interior. La condensación del vapor de agua en el interior de la cubierta representa otra forma de pérdida de calor. La condensación del vapor de agua en el interior de la superficie de la cubierta es otra forma de perder calor. Puede causar goteo y dañar la calidad de la

cosecha, aumentando el riesgo de enfermedad. Por eso, los fabricantes han incorporado inhibidores de la condensación que evitan la formación de gotas.

Hablando de los recubrimientos para retención del calor, cualquier recubrimiento interior puede ser usado para retener calor por la noche, cuando la demanda de calefacción es mayor. El porcentaje de sombra no importa bajo estas condiciones. La cantidad de calor retenido y el combustible ahorrado varían según el tipo de material del recubrimiento, experimentos indican que se ahorra entre 50% y 60% de los costos de combustible, comparados con invernaderos similares son recubrimientos o costinas en el techo. Los productores reportan una ahorro anual de 30% o más ^[4]. Una desventaja de los recubrimientos interiores es que atrapan aire frío entre la tela y el techo, y cuando el toldo se quita en la mañana, este aire frío cae sobre el espacio caliente de abajo, dañando potencialmente la cosecha. Para evitarlo es importante abrir cortinas gradualmente para que el aire frío se mezcle con el aire caliente de abajo. O también, si el cultivo tolera la sombra, la cortina puede dejarse cerrada hasta que la luz del sol caliente el aire arriba del toldo.

Las mallas de sombra son muy utilizadas para reducir la intensidad de la luz y ayudar al control de la temperatura del invernadero durante el día. Debido a que son móviles pueden cerrarse parcialmente y abrirse por completo en los días nublados. Esta capacidad permite aumentar el tiempo en que los niveles de luz ideales están disponibles para ese cultivo.

Sembrar en el suelo puede ser la opción más barata para comenzar o puede ser de alta tecnología como cualquiera en la industria de los invernaderos. El lado negativo de producir en el suelo implica el reto de mantener la limpieza y alejar los patógenos. Asimismo, si el suelo no tiene una superficie dura, el empleo de las carretillas y otros medios de transporte es limitado. El microclima cerca del suelo es diferente de que hay más arriba, generalmente, abajo hay menos circulación de aire, lo que lleva a un exceso de humedad.

Cubrir un suelo bien drenado a una cama de arena o grava fina con una lona ha resultado el piso más barato para un invernadero. Dependiendo de la calidad del subsuelo y la lona, estos pisos pueden durar muchos años.

7.3. SISTEMA DE CAPTACIÓN

Para complementar el uso eficiente del agua se elabora un sistema de captación pluvial en el invernadero. Una alternativa que no se ha explotado a plenitud y que es altamente viable para disponer de agua es la captación de agua de lluvia. Las razones fundamentales son la histórica explotación de acuíferos para abastecimiento y la falta de tecnología económica y ecológica apropiada para la captación y almacenamiento. Sin embargo, en los últimos ocho años se han logrado avances importantes en el desarrollo de tecnologías para la captación de agua; tecnologías que cumplen de modo cabal con los requerimientos de seguridad hidráulica, estructural y ambiental, por lo que pueden ser aplicadas masivamente en el país. La tecnología fue desarrollada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Universidad Autónoma de Zacatecas, instituciones que la emplean exitosamente en Chihuahua, Estado de México, Guerrero, Michoacán, Morelos y San Luis Potosí ^[6]. Su uso se sigue extendiendo de manera rápida debido a que es una propuesta costeable y permite contar con agua, sin la necesidad de extraerla del acuífero, lo que posibilita su recuperación y recarga.

Los últimos sistemas de captación de agua de lluvia para invernaderos y su operación propuestos por el IMTA y la UAZ, mediante megacisternas de almacenamiento muestran que su aplicación es altamente viable tanto técnica como económica y socialmente. Haciendo un análisis de los costos de instalación y operación de estos sistemas comparados con los tradicionales de bombeo se ha demostrado que es más económico, la instalación de un sistema de alta productividad (agricultura protegida), mediante la captación de agua pluvial que un sistema de bombeo tradicional de frijol y maíz. Además la aplicación de estos sistemas constituyen una alternativa real para dar oportunidad que los acuíferos se recuperen, el costo de almacenamiento es del orden de 25 centavos (.015 USD), el litro almacenado, considerando que los usuarios ponen la mano de obra. Esto se ha logrado mediante la propuesta tecnológica de una cisterna cilíndrica tipo capuchino cuyo proceso constructivo y materiales usados la hacen altamente económica. En este sentido un análisis comparativo de costos de cisternas cilíndricas muestra que cualquier otro tipo resulta antieconómico, como la propuesta por la FAO cuyo costo de construcción es de un peso por litro almacenado como mínimo.

En la figura40 se muestra un esquema de la cisterna de 500 m³, cuyos datos y dimensiones son los siguientes: Diámetro de la cisterna: 16.7 m; diámetro hasta el anillo de refuerzo, malla del número 4:16.88m; diámetro que incluye 1 m adicional de losa de fondo para la fijación de contrafuertes: 17.88 m; Altura de nivel del agua. 2.3 m; volumen almacenado: 503 m³; radio para la distribución de columnas: 4.22 m; número de columnas: 7 en el círculo interior y una al centro; separación de columnas en todos sentidos: 4 m; altura de las columnas: 3 m y número de contrafuertes: 27. Costo total de materiales \$138,420.00 o \$10,717.86 USD (julio - 2012).

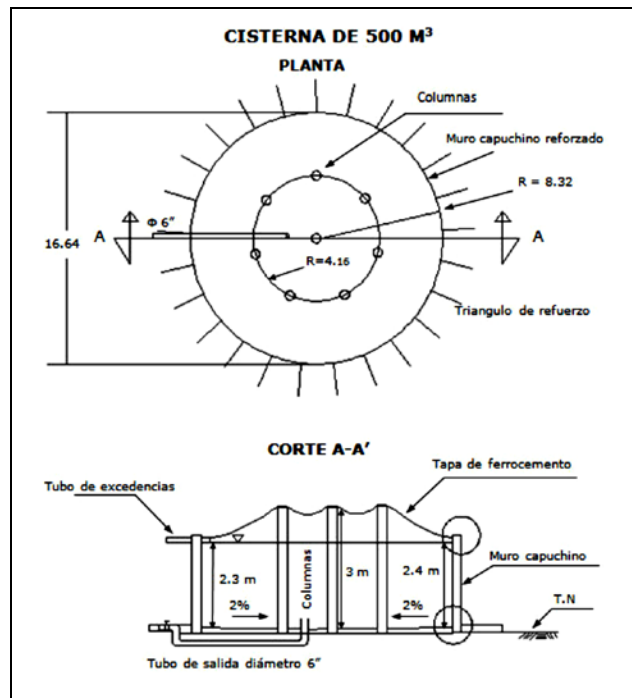


Figura 39 - Cisterna Invernadero.

*[6]

Usando como área de captación la proyección de los techos de invernadero, se sabe que son 21 naves cada uno de 9 x 630 metros (Figura 39), por lo que tenemos un total de 119,070 m² de área potencial para captar el agua de lluvia, esta área se multiplica por la lámina de lluvia esperada para las

condiciones promedio y desfavorable de precipitación, así se tienen entonces para cada mes un volumen potencial por almacenar de (Tabla 43):

Tabla 43 - Volumen Potencialde Almacenamiento Mensual Del Sistema De Captación.

Mes	DESFAVORABLE		PROMEDIO	
	hp [mm]	V [m ³]	hp [mm]	V [m ³]
Enero	17.04	2,029	2.65	316
Febrero	10.98	1,307	9.04	1,076
Marzo	14.82	1,765	40.02	4,765
Abril	23.23	2,766	32.2	3,834
Mayo	35.45	4,221	65.94	7,851
Junio	82.32	9,802	97.11	11,563
Julio	73.98	8,809	127.45	15,175
Agosto	34.2	4,072	155.21	18,481
Septiembre	102.28	12,178	86.67	10,320
Octubre	2.82	336	20.4	2,429
Noviembre	14.49	1,725	7.81	930
Diciembre	0	0	0	0

Como se puede apreciar en la tabla 43, el sistema de captación de una cisterna es insuficiente para aprovechar en su totalidad el agua precipitada, por lo que se puede ampliar las cisternas, tanto en número como en capacidad, pero aun así el agua demandada es mayor (76,540 m³ para el tomate), solo en la condición promedio, almacenando toda el agua del año se lograría cubrir la demanda, pero eso es técnica y económica inviable, por lo que se debe diseñar un sistema de riego que use como reserva el agua almacenada y el agua para riego se obtenga de otra fuente segura, ya que el objetivo de la implementación de este proyecto es disminuir la cantidad de agua extraída y aprovechar de mejor forma el agua disponible.



Figura 40 - Sistema De Captación.
* <http://www.hortalizas.com>

7.4. SISTEMA DE RIEGO

El riego de las plantas en invernadero es una de las tareas más difíciles, porque es parte ciencia y parte arte. La ciencia es la parte fácil, los principios científicos se pueden enseñar y aprender, pero el arte de regar es extremadamente difícil de enseñar. El riego es una de las actividades de mayor mano de obra intensiva dentro del invernadero. Por eso, la automatización del riego es una de las primeras tareas de automatización que se emprende en un invernadero.

El arte de regar consiste en determinar cuándo necesitan ser regadas las plantas y entonces aplicar agua apropiadamente, antes de que se empiecen a marchitar u ocurra tensión por falta de agua. Las herramientas para determinarlo son caras y no son prácticas en la producción normal de un invernadero comercial, de manera que el productor debe hacer tal determinación con habilidad y experiencia.

El riego por goteo se hace llegar un goteo constante o intermitente hasta la raíz de cada planta por medio de un sistema de tubos delgados, con lo cual se logra un notable ahorro de agua. Un sistema de riego por goteo consta de tubos conductores, tubos laterales, filtros, reguladores de presión y goteros. El agua que se utiliza debe estar libre de impurezas, así que la limpieza del agua por medio de filtros es una parte muy importante. El goteo se puede usar en combinación con la hidroponía y la fertirrigación.

La hidroponía es un sistema en el que todos los nutrientes son proporcionados a la planta a través del agua de riego, con un sustrato sin suelo (inorgánico inerte) en el que la planta crece para producir flores o frutas. Los sistemas hidropónicos se usan comunes para producir flores de corte o vegetales que son cosechados de plantas que duran mucho, como rosas, garbera, tomates, pimientos y pepinos. Los sistemas de irrigación más comunes en la hidroponía son el de flujo reflujos y de goteo.

Para este caso se decide implementar el riego por goteo, que a pesar de ser más caro, el mantenimiento es bajo y la operación más simple y sencilla.

La ecuación comúnmente para relacionar el goteo y la carga hidráulica es la siguiente:

$$q = Kh^x \quad \text{Ec. (74)}$$

Donde q es gasto del emisor, en l/s; h la carga de presión, en kN/m^2 ; K es la constante del emisor; x es el exponente del emisor

Estas constantes son proporcionados por cada fabricante, algunos datos promedio son: $x=0.63$, para K entre 0.000042 y 0.000073, $1 \text{ kN/m}^2 = 1/9.8 \text{ m columna de agua}$.

Para calcular la pérdida de carga en las tuberías se recomienda emplear la ecuación siguiente:

$$hf = KLQ^{1.75}D^{-4.75} \quad \text{Ec. (75)}$$

Donde hf es la pérdida por fricción, en m; L es la longitud del tubo, en m; Q el gasto total, en l/s; D es el diámetro interior de la tubería, en mm.

La ecuación x es válida para tubos de plástico. Cuando se trata de tubos donde existen múltiples descargas, como es el caso de las tuberías regantes, se debe corregir el valor H_f multiplicándolo por

$F=0.35$; éste valor es correcto cuando se tiene 20 o más salidas, si son menos, se puede determinar el valor de F con ayuda de la tabla 43.

Tabla 44 - Relación Entre El Numero De Tomas Y El Valor F .

Número de tomas	F	Número de tomas	F
1	1	8	0.37
2	0.51	12	0.36
4	0.41	16	0.36
6	0.38	20	0.35

*[4]

El procedimiento para integrar los gastos y las cargas de presión en un sistema de riego por goteo, es similar al realizado en el riego por aspersión.

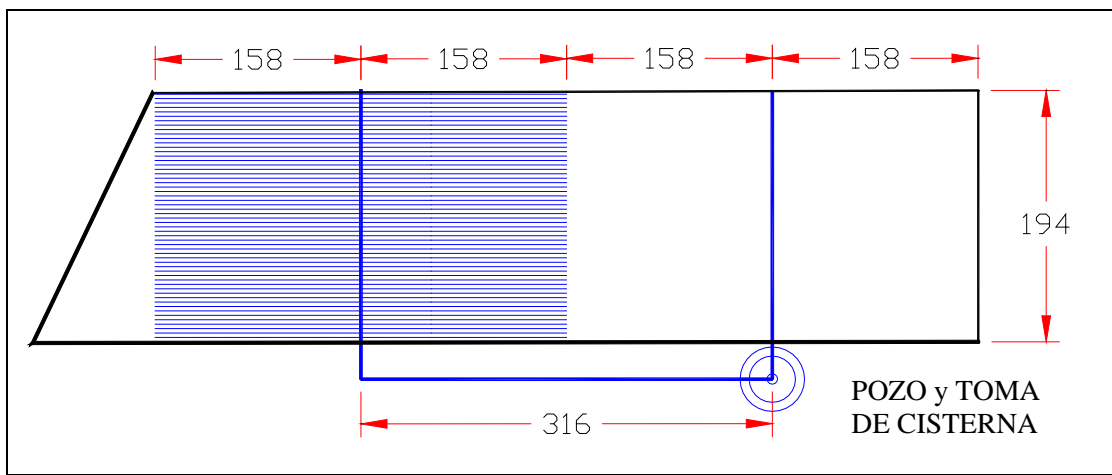


Figura 41 - Esquema Del Sistema De Riego I, Unidades En Metros.

*Elaboración propia [se reduce a la mitad]

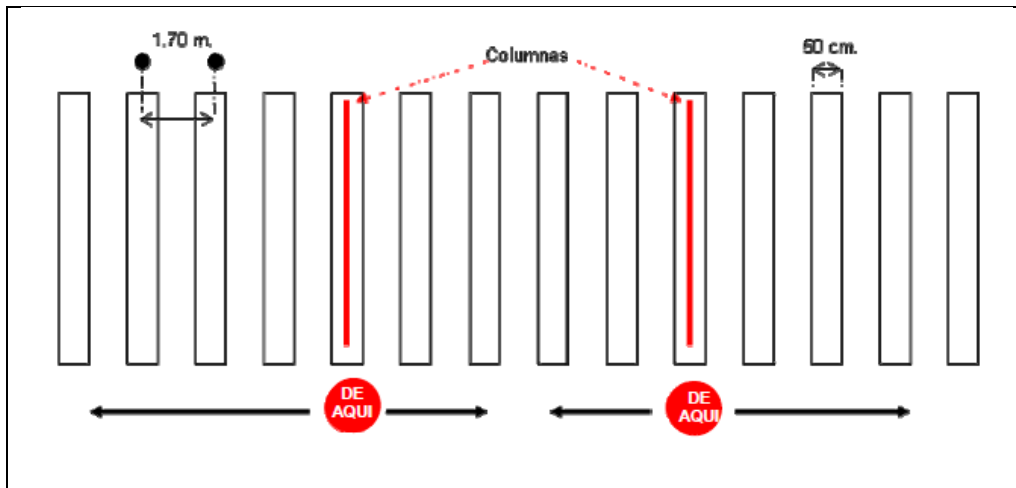


Figura 42 - Esquema Del Sistema De Riego II, Unidades En Metros.

*[4]

Notas para el diseño:

* Se recomienda que la variación de la descarga de los emisores no debe exceder el 10%.

* La variación de las cargas en los emisores no debe exceder del 10 al 15%, salvo en los emisores de microtubo donde se puede aceptar hasta el 20%.

*Como cada sistema puede variar en los requerimientos de filtros, válvulas, reguladores de presión. Deben de tomarse en la evaluación de las pérdidas correspondientes a las presencia de tales dispositivos.

Con la información mostrada en las figuras 43 y 44 y considerando que el tiempo de riego (Tr) es de 10 h/día, que los goteros aceptan variaciones de presión del 15%, la carga de succión del almacenamiento (Cisternas) es de 5 m., el agua extraída de pozo también llega a la cisterna, el uso consuntivo de 630 l/m², 6,300 m³/ha o 4.1 mm/día [tabla 41], una eficiencia en el sistema de riego del 90% y que el área de cada planta de tomate (Ap) es de 1 m² (1.25 x 0.80 m), se procede a hacer el diseño. De la figura 43 se aprecia que cada nave cuenta con 5 hileras, entonces se propone regar la nave 1,2 y 3 el día 1, la 4, 5 y 6 el día 2 y así en tercias hasta alcanzar las 21 naves.

Entonces la lámina de riego (LR) se define por LR = 3(UC) [mm/día]. Se calcula el gasto requerido para cada planta con la ecuación siguiente:

$$q_s = \frac{LR(Ap)}{(Tr)(3600)} = \frac{(3)(4.1)(1)}{(10)(3600)} = 0.000342 \text{ l/s}$$

Considerando la eficiencia del sistema se obtiene $Q_e = 0.00038 \text{ l/s}$ que es el gasto del emisor. En la tabla 45 se resumen los cálculos para cada longitud de hilera, con esta longitud se determinan el número de plantas y emisores necesarios, con ellos multiplicando por el gasto de cada emisor se obtiene el gasto de la hilera (Q_L) y Q_{la} representa el gasto en la mitad de la hilera, el Q_{hilera} es el gasto consumido por las hileras para cada nave (5) para después calcular el gasto de la bomba necesario para esas hileras, Q_b se obtiene al multiplicar el Q_{hilera} , por el número de naves a regar simultáneamente, Q_{bacum} es la suma acumulada de los gasto necesarios en cada ramal (4).

Tabla 45 - Relación Entre El Numero De Tomas Y El Valor F.

L [m]	No. Plantas	No. Emisores	Q_L [l/s]	Q_{la} [l/s]	Q_{hilera} [l/s]	Q_b [l/s]	Q_{bacum} [l/s]
158	316	316	0.12008	0.06004	0.6004	1.8012	7.2048

Usando el emisor de tipo “microtubo” y las constantes $K = 0.000073$ y $x = 0.63$ para la ecuación 74, la carga de operación de los emisores en metros es de:

$$h = \frac{\left(\frac{Q_e}{K}\right)^{1/x}}{9.8} = \frac{\left(\frac{0.00038}{0.000073}\right)^{1/0.63}}{9.8} = 1.399 = 1.4 \text{ m} \quad \text{Ec. (76)}$$

La variación de la carga aceptable en los emisores es:

$$hf = VP(h) = (0.15)(1.4) = 0.21 \text{ m} \quad \text{Ec. (77)}$$

Las pérdidas en la mitad de la tubería regante (1^{er} hilera) se calculan con la ecuación 77. Proponiendo un diámetro de D, obteniendo la longitud de la lateral, el gasto por lateral y para un F = 0.35 se tienen las pérdidas siguientes:

Tabla 46 - Pérdidas En Tuberia Secundarias Para Diferentes Diámetros.

D [in]	D [m]	Q [l/s]	L [m]	F	h_{fL} [m]
1 1/2	0.0381	0.06004	80	0.35	0.005
1	0.0254	0.06004	80	0.35	0.034
1/2	0.0127	0.06004	80	0.35	0.919
1/4	0.00635	0.06004	80	0.35	24.736

Las pérdidas en el tubo principal, que alimenta las tuberías lateras se calcula con la misma ecuación anterior, proponiendo un diámetro para un gasto $Q_{AL} = Q_L(\text{No. de Naves})$ y una $F = 0.35$. Para los diámetros de la tubería principal que sale de la bomba se procede de igual forma solo que $Q_{AL2} = Q_{AL}(\text{No de tuberías primarias } 1, \text{ en este caso son } 2)$.

Tabla 47 - Pérdidas En Tuberia Primaria 1. Para Diferentes Diámetros.

D [in]	D [m]	Q [l/s]	Q_{AL} [l/s]	L [m]	F	h_{fp1} [m]
2 1/2	0.0635	0.12008	0.36024	194	0.35	0.025
2	0.0508	0.12008	0.36024	194	0.35	0.071
1 1/2	0.0381	0.12008	0.36024	194	0.35	0.278
1	0.0254	0.12008	0.36024	194	0.35	1.906

Tabla 48 - Pérdidas En Tuberia Primaria 2. Para Diferentes Diámetros.

D [in]	D [m]	Q [l/s]	Q_{AL2} [l/s]	L [m]	F	h_{fp2} [m]
3	0.0762	0.24016	0.72048	315	0.35	0.056
2 1/2	0.0635	0.24016	0.72048	315	0.35	0.134
2	0.0508	0.24016	0.72048	315	0.35	0.387
1 1/2	0.0381	0.24016	0.72048	315	0.35	1.517

De las tablas 46, 47 y 48 se aprecian las diferentes pérdidas asociadas a diferentes diámetros comerciales, escogiendo para las tuberías secundarias un diámetro de 1", para la tubería principal 1 un diámetro de 2" y para la principal 2 de 3". Como $h_{fL} + h_{fp1} + h_{fp2} = 0.034 + 0.071 + 0.056 = 0.161$ m es menor a h_f (0.21 m) el cálculo de los diámetros es aceptable.

La carga total requerida para un gasto de 0.24 l/s se calcula como:

$$Ht = h + h_{fL} + h_{fp1} + h_{fp2} + Succ = 1.4 + 0.161 + 5 = 6.6 \text{ m}$$

BIBLIOGRAFÍA

1. Lesur y Esquivel Luis R.; MANUAL DE INVERNADEROS AGRÍCOLAS; Trillas; México 2011.
2. Garza Arizpe M et al.; MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO EN SUELO EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN, SAGARPA, México 2008.
3. Cid Ballarín María C, et al.; ECODISEÑO Y MANEJO SOSTENIBLE DE INVERNADEROS PARA CULTIVO DE TOMATE EN CANARIAS; ICIA – IRTA; Canarias 2005.
4. Barrios Capdeville O.; CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO; FOCUA - compendio revista Nuestra Tierra; Chile.
5. Barrios Domínguez J., et al.; LA CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTOS DE AGUA DE LLUVIA, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE MANTOS ACUÍFEROS; IMTA – UAZ; XXII Congreso de Hidráulica, México Noviembre 2012
6. Villarreal Manzo Luis A.; CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y PRODUCCIÓN EN INVERNADERO DE HORTALIZAS, PLANTAS AROMÁTICAS y MEDICINALES “ATLIXCÁYOTL”; Colegio de Postgraduados; Puebla - México

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

7. Asociación Mexicana de Constructores de Invernadero (AMCI)

8. PROYECTO DE RIEGO

El riego artificial consiste en la aplicación artificial de agua al terreno para que las plantas (cultivos) puedan satisfacer la demanda de humedad necesaria para su desarrollo, los objetivos del riego son ^[1]:

1. Proporcionar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos.
2. Proporcionar nutrientes en disolución.
3. Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
4. Refrigerar el suelo y la atmósfera para mejorar el medio ambiente de la planta.
5. Disolver las sales contenidas en el suelo o reducir el contenido de sales de un suelo existiendo un adecuado drenaje.

Junto con el buen manejo y fertilización del suelo, el control de las plagas y la mejor calidad genética de las semillas, el riego constituye una de las claves para la mayor y más económica producción de cosechas. A diferencia de la lluvia que nos envía gratis la naturaleza, el riego implica un gasto adicional, tanto por su instalación como por su operación y el precio mismo del agua, que en la mayor parte del mundo, cada año que pasa, se vuelve más cara y escasa.

El surgimiento y la evolución del riego por aspersión y goteo son, precisamente una respuesta a la escasez del agua y el costo del regadío, porque reducen la mano de obra y la cantidad de agua necesaria para lograr una cosecha. Al mismo tiempo, estos nuevos sistemas tienen la ventaja adicional de lograr una alimentación más adecuada de las plantas, no solo porque proporcionan el agua precisamente cuando la planta la necesita, sino también porque mediante ella se puede agregar fertilizantes y algunos plaguicidas.

Las plantas absorben agua principalmente a través de sus raíces, por tanto, para que las plantas se desarrollen debe haber humedad en el suelo, precisamente en la zona donde crecen las raíces, cuya profundidad varía de un cultivo a otro. La disponibilidad de agua en la zona de las raíces depende del riego y de las condiciones del suelo, que cambian según su estructura. Cada especie tiene raíces con características y hábitos de desarrollo distintos, así hay algunas plantas que tienen una raíz como taladro que penetra profundamente en el suelo y otras especies, en cambio, desarrollan lateralmente pocas raíces primarias y muchas radículas laterales, por ejemplo las raíces de la espinaca y el apio se localizan en los primeros 30 cm de superficie del terreno; las de la papa a 60 cm; las del algodón, maíz y tomate a 1.20 m o más; las de la alfalfa y el espárrago a 2.5 m o más; y las del pepino se extienden lateralmente de 1.50 a 1.80 m en la capa arada del terreno. Se puede decir que alrededor de 70 % de las raíces absorbentes de la mayoría de los cultivos se concentran en la capa superior del suelo, a no más de 40 cm debajo de la base de la planta ^[3].

Cuando se habla del riego en general, se dice que el problema principal por plantearse es el Cuánto, Cuándo y Cómo regar. El Cuánto plantea el problema de la cantidad de agua que hay que aplicar a un suelo en el que se va establecer o se tiene establecido algún cultivo el cual se abordó en el capítulo 6 de este trabajo. El Cuándo plantea el problema de la oportunidad con que se debe aplicar esa cantidad de agua, abordado de igual forma en el capítulo 6. El Cómo plantea el problema de la forma en que esa cantidad de agua deba aplicarse al suelo en la oportunidad que definió el Cuándo. Todo esto con el fin de hacer un aprovechamiento integral del agua para que sea aplicada en oportunidad y con la mayor eficiencia posible, obteniendo el máximo de los rendimientos en la producción.

El sistema de riego, es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego ^[3]. Las partes que integran los sistemas de riego se pueden identificar como:

- a) Fuente de regadío (río, presa, pozos, etc.)
- b) Obra de toma de agua.
- c) Canal principal o tubería.
- d) Los canales distribuidores o tuberías (primario, secundario, terciario, etc.).
- e) Red de drenaje destinada a evacuar excedentes de agua y de sales, así como de niveles freáticos excedentes.
- f) Las obras hidráulicas del sistema de riego (compuertas, válvulas, medidores, aliviadores, etc.).
- g) Las instalaciones adecuadas para garantizar el riego durante todo el ciclo.

Los métodos de riego pueden ser considerados como la forma en que el riego es aplicado al suelo para el desarrollo de los cultivos. Estos pueden ser:

- a) Riego superficial o gravedad: El agua se distribuye por la superficie del campo por gravedad, esto es, a través de surcos, melgas, cuadros, terrazas, etc.
- b) Riego por aspersión: El agua se distribuye en forma de lluvia artificial a través de equipo especial de rociado.
- c) Riego por goteo: El agua se suministra en forma de gotas directamente a la zona radicular de cada planta.
- d) Riego subterráneo: El humedecimiento del suelo se realiza por medio de humidificadores colocados debajo de la planta, aproximadamente a 40 - 45 cm. También puede regarse en forma subterránea, a través del control de niveles freáticos, donde se mantiene la humedad del terreno en niveles deseados.

La selección de uno u otro método de riego se deben considerar varios factores muy diversos y algunas veces complejos, no por el aspecto técnico, sino más bien como resultado de la mezcla del aspecto social y económico como:

- Sociales: el agricultor puede desconocer las ventajas de ellos o se aferra a uno sólo por tradición.
- Económicos: algunas veces en función de créditos y/o de la relación beneficio - costo.
- Topográficos: en el caso de uso de riego presurizado generalmente hay limitaciones por pendiente.
- Agrológicos: debido a las características generales del suelo.
- Agronómicos: tipo de cultivo, rentabilidad.

En términos generales el principal factor para seleccionan un sistema de riego se efectúa sobre la base de análisis de las condiciones naturales y económicas. Algunas generalidades sobre que método de riego escoger se muestran a continuación ^[2]:

Tabla 49 - Consideraciones Para La Selección Del Método De Riego.

MÉTODO DE RIEGO	TOPOGRAFÍA	CULTIVOS	OBSERVACIÓN

CAPITULO 8: PROYECTO DE RIEGO

MÉTODO DE RIEGO	TOPOGRAFÍA	CULTIVOS	OBSERVACIÓN
Melgas o franjas anchas	Pendientes que pueden ser ajustadas a menos de 1% y preferentemente al 0.2%	Alfalfa y otros cultivos densos de raíz profunda y frutales	Es un método apropiado para irrigar cultivos de crecimiento denso dónde la topografía es favorable. En terrenos planos se requiere una pendiente uniforme en la dirección del riego, siendo más convenientes pendiente arriba del 0.5%. Los cambios de pendiente deberán ser ligeros y se deberán evitar las contras pendientes. Se deberán de evitar las pendientes transversales.
Melgas o franjas angostas	Pendientes que pueden ser ajustadas al 4% o menos y preferentemente menos del 1%	Pastos	Especialmente adaptadas para suelos superficiales sobre una capa endurecida de arcilla o suelos de baja infiltración. Pendientes uniformes son deseables en dirección del riego per no esencial. Los cambios severos en la pendiente y contra pendientes deberán ser suavizados. La pendiente transversal es permisible cuando se limita a una diferencia de elevación entre bordos de 6 a 9 cm.
Surcos transversales	Pendientes que pueden ser ajustadas a 0.2% o menos	Frutales	Este método es aconsejable para obtener una buena distribución y penetración del agua, sobre todo en suelos con baja capacidad de infiltración.
Corrugaciones	Tierras cuyas pendientes pueden ser ajustadas del 0.5% a 12%	Alfalfa, pastos y cereales	Este método se adapta especialmente a terrenos con fuerte pendiente y pequeños caudales de riego. Es conveniente, pero no esencial, una pendiente uniforme en la dirección de riego. Los cambios bruscos en pendientes deberán ser corregidos. Debido a la tendencia de las corrugaciones a obstruirse, desbordar causaría erosión, se deberán evitar las pendientes transversales lo más posibles.
Surcos en contorno	Terrenos con pendientes variables del 2 al 25%	Cultivos en hileras y frutales	Adaptado en cultivos en hileras, en terrenos con fuerte pendiente, aunque presentan riesgo debido a la erosión por fuertes lluvias. La pendiente en la dirección de riego debe ser del 0.5 a 1.5%. No hace falta corregir más allá de rellenar las zanjas y remover protuberancias abruptas.
Zanjas a nivel (o en contorno)	Pendientes irregulares de hasta 12%	Pastos y cereales	Especialmente adaptado a condiciones de pie de colinas, así mismo requiere poco o ninguna nivelación de la superficie.
Diques rectangulares	Terrenos con pendientes de manera que una o múltiples pozas de árboles puedan ser niveladas dentro de los 6 cm de altura	Frutales	Especialmente adaptado a suelos con alta o baja infiltración. Pueden requerir considerable movimiento de suelo.
Diques en contorno a nivel	Terrenos ligeramente irregulares con pendientes menores de 1%	Frutales, arroz, cereales y cultivos forrajeros	Reduce la necesidad de movimiento de suelo. Empleando frecuentemente para evitar la necesidad de nivelación. Mejor adaptados a suelo de alta o baja infiltración.
Tubería portátil	Pendientes irregulares hasta del 12%	Pastos y cereales	Especialmente adaptado a suelos con alta o baja infiltración. Pueden requerir considerable movimiento de suelo.
Riego subterráneo	Pendiente cercana a cero	Cultivo de raíces poco profundas como papas y algunos pastos	Requiere un nivel freático elevado condiciones muy permeables del subsuelo y una nivelación precisa. Muy pocas áreas están adaptadas para este método.
Terrazas de escalones en	Terrenos con pendientes hasta	Cualquier cultivo, especialmente	Considerable pérdida de terreno debido a las terrazas. Requiere costosas estructuras de caída de agua para el

MÉTODO DE RIEGO	TOPOGRAFÍA	CULTIVOS	OBSERVACIÓN
curvas de nivel	de 35%	los agrícolas	control de la erosión.
Riego subterráneo (con tuberías)	Pendientes del 0 al 1%	Cualquier cultivo, en hilera o de alto valor	Requiere la instalación de tubería plástica perforada en la zona de raíces a espaciamientos estrechos. Existen algunas dificultades cuando las raíces se insertan en las perforaciones. No se pueden corregir espaciamientos tan fácilmente. Se requieren pruebas de campo sobre los diferentes suelos.
Micro riego (goteo y micro aspersión)	Cualquier pendiente apta para cultivos en hilera	Cultivos en hileras y frutales	Se requiere tubería perforada en la superficie del suelo la cual gotea agua en la base de las plantas para árboles individuales. Ha sido usado con éxito con agua salina y alta frecuencia de riego, en condiciones en que la salinidad del agua en el suelo es similar a la de riego.

*Hergravesen, 2000, [2].

Es conveniente señalar, que el proyectista del sistema de riego debe tener conocimiento de algunas prácticas previas al riego y de la interpretación de cada una de ellas, para poder elaborar diseños de sistemas de riego superficiales y/o presurizados con eficiencia, éstas prácticas son entre otras:

- Determinación del contenido de humedad en el suelo
- Determinación de la Infiltración
- Determinación de las curvas de avance y recesión
- Determinación de gastos no erosivos
- Determinación de tiempos de riego
- Calibración de sifones.

Se debe regar en forma eficiente los diferentes terrenos o cultivos que tiene el agricultor, aprovechando la mayor cantidad de agua posible. Por ejemplo, al regar con riego superficial generalmente se usa mucha agua, que es difícil controlar y gran parte va a caer a los desagües, comparado con el riego por aspersión, donde normalmente toda el agua que se aplica la absorbe el suelo, lográndose una gran eficiencia. La eficiencia de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. La eficiencia la determina en gran medida el método de riego utilizado cuyos valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 50 - Eficiencias Típicas De Riego Según Método De Aplicación.

MÉTODO DE RIEGO	AGUA ÚTIL PARA EL CULTIVO [litros por cada 10 litros aplicados]
Tendido	20 a 30
Surco	40 a 70
Melgas	50 a 60
Aspersión	65 a 80
Goteo	90 a 95

*[1 y 2]

La información mostrada en la tabla 50 es de referencia y puede variar enormemente según las prácticas de riego acostumbradas, ya que se puede tener un riego tecnificado como riego por surcos, pero emplear mucho tiempo de riego con lo que se producirá una excesiva percolación profunda o

escurrimiento superficial, bajando la eficiencia, también puede suceder que se use un riego tecnificado por surcos y se tenga una mayor eficiencia que la señalada. Las buenas prácticas de riego tienen que ver con:

- Mantener la zona de raíces de los cultivos sin excesos ni falta de agua.
- Evitar inundaciones en los sectores más bajos del terreno, con lo que se evitan las enfermedades del cuello de las plantas.
- Disminuir los problemas de drenaje.
- Aumentar los rendimientos de los cultivos.
- Regar más superficie con la misma agua.

Para lograr una buena eficiencia con cualquier método de riego se deben conocer algunos problemas generales que se presentan al regar y sus posibles soluciones. Éstas se deben adecuar a la realidad de cada agricultor.

Tabla 51 - Recomendación Prácticas De Riego.

PROBLEMA	NO SE DEBE HACER	SE RECOMIENDA
Cómo sacar el agua del canal para regar	Romper el canal o acequia	Usar compuertas. Usar sifones o cajas de distribuciones
Al regar, mucha agua cae al desagüe	Dejar de correr el agua todo el tiempo	Usar menos agua para regar. Usar sifones o cajas. Reducir el caudal cuando el agua llega al final del paño a regar.
Cuántos días se dejan pasar entre un riego y el siguiente	Esperar que el suelo se seque completamente	Sacar muestra de suelo y estimar humedad.

*[2]

Bajo estas recomendaciones y adaptándonos a las condiciones del terreno (topografía) y los cultivos programados se procede al diseño del sistema de riego y se describe en los siguientes subcapítulos.

8.1. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO

Como se ha mencionado el sitio de desarrollo para el proyecto cuenta con un área de 100 hectáreas enmarcada en un polígono irregular de las características mostradas en la figura 44, los escurrimientos dentro del terreno se dan en dirección noroeste y noreste siendo más pronunciados al noroeste (figura 45), las pendientes para estas direcciones son de 0.006 y 0.0045 respectivamente.

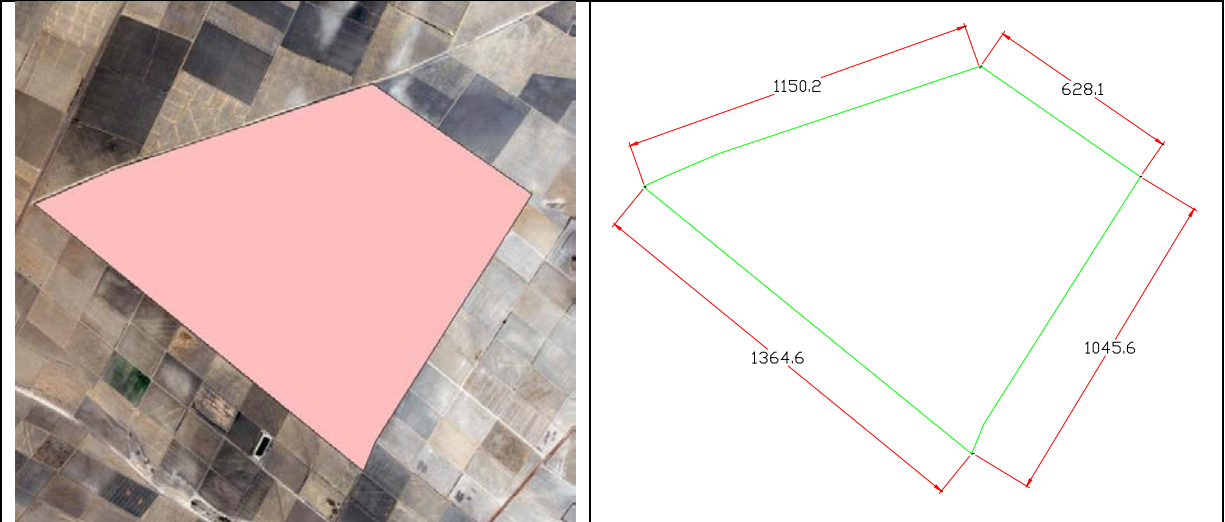


Figura 43 - Polígono De La Zona En Estudio, Unidades En Metros.

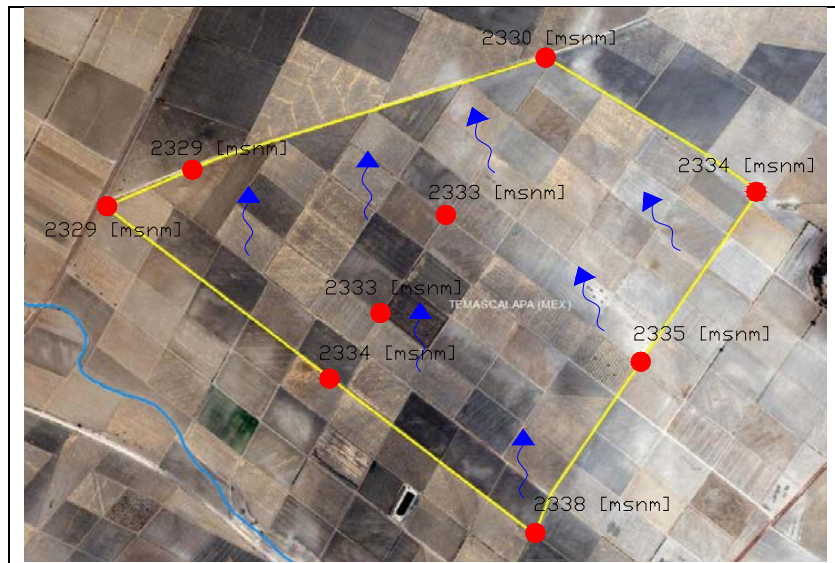


Figura 44 - Drenaje De La Zona De Estudio.

La división de las zonas se hace atendiendo a las características topográficas que presenta el sitio, el invernadero, con un área de 10 ha se coloca en la esquina suroeste, debido a que cuenta con fácil acceso a un camino y a que es una de las partes altas lo que la brinda de drenaje natural, además como el agua que se precipita sobre esta parte del terreno so será almacenada al 100% puede escurrir a zonas donde se necesite más como es el caso del maíz. El maíz se acomoda en el área de 25 ha en la parte oeste del terreno, siendo la zona más baja, por lo que los escurrimientos del invernadero y de las parcelas del este escurrirán hacia ella, esto debido a que el maíz es de los cultivos que más agua requieren y si existen sobrantes en las otras áreas estos pueden conducirse fácilmente para su aprovechamiento en la zona del maíz, si es que las condiciones de saturación en el suelo lo permiten, las áreas más elevadas corresponden al trigo y la cebada, cada una con un área de 32.5, esto se decide para que reciban un poco más de luz y viento. La división sectorial para el módulo se puede apreciar en la figura 46.

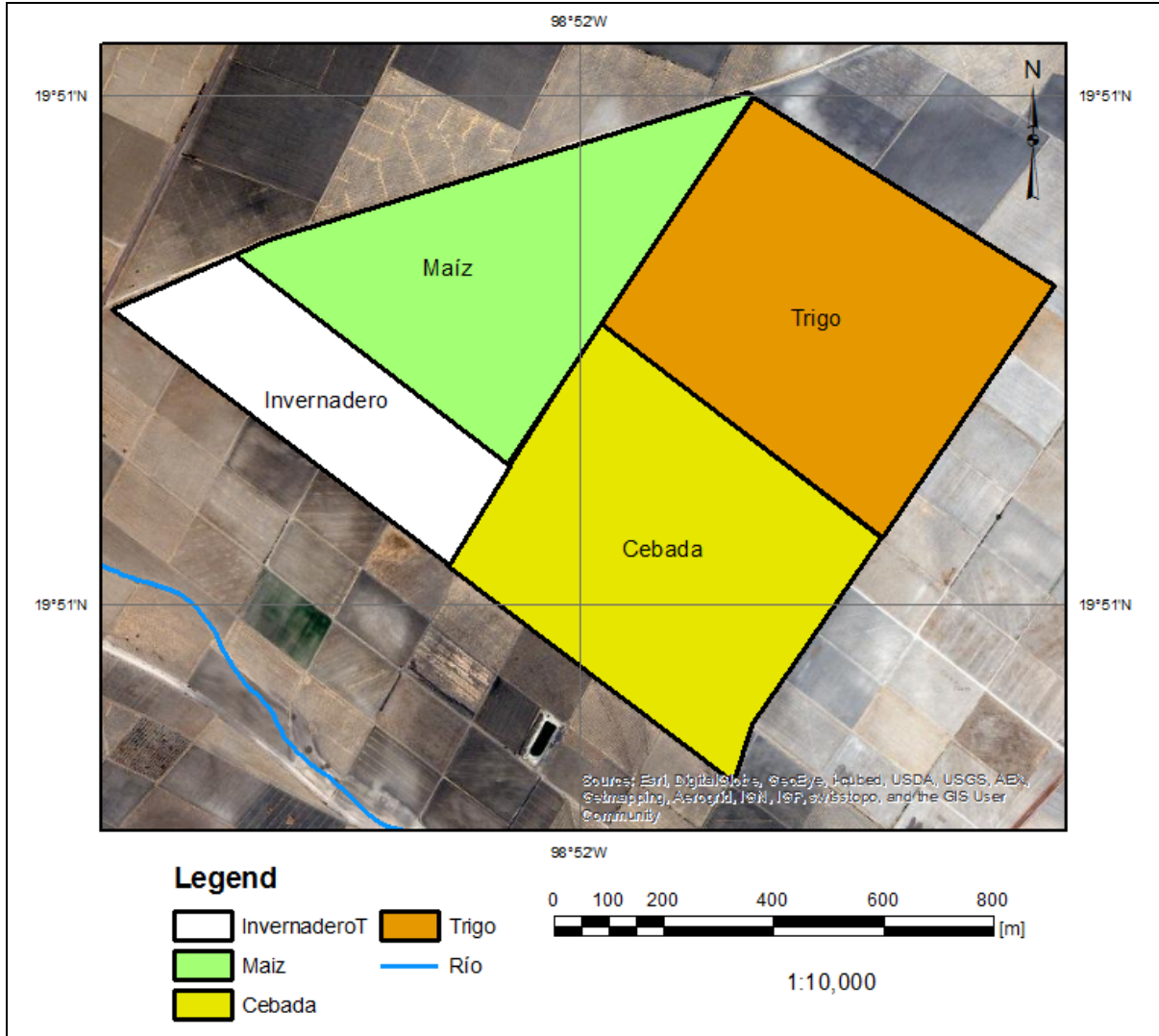


Figura 45 - Sectores De La Zona En Estudio.

8.2. PRACTICAS DE MANEJO DE SUELO

Si bien es cierto que el desarrollo de las plantas depende del agua también lo es su dependencia a los elementos nutritivos que aportaba el suelo, de ahí el éxito en obtener cosechas abundantes y asegurar así la manutención de las personas. Los sistemas productivos sostenibles requieren de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de los terrenos donde se establecen los cultivos para asegurar su multifuncionalidad, pues la productividad y el rendimiento deseables derivan de los niveles de fertilidad de la capa superficial de la corteza terrestre para la satisfacción de las diversas necesidades humanas (alimentarias, medicinales, rituales, ornamentales, maderables, etc.).

De este modo, para garantizar la acumulación de biomasa con valor agrícola o forestal en un área determinada es imprescindible considerar ciertos principios inherentes al manejo ecológico de un suelo en que la incorporación de materia orgánica, la disposición de coberturas o el diseño de rotaciones y asociación de cultivos con leguminosas son esenciales para minimizar el efecto de los factores que

limitan el rendimiento esperado en un desarrollo agrícola, tal como sucede con la degradación o erosión del suelo originada por la deforestación, la labranza excesiva o el pastoreo desordenado.

Las prácticas no solamente favorecen las condiciones de aireación, retención de humedad o contenido de nutrimentos en el suelo, sino que también mejoran la diversidad y el desempeño de los microorganismos que contribuyen en los procesos de mantenimiento y recuperación de su fertilidad. Además, son tan sencillas de poner en práctica que pueden adaptarse a sitios con poca capacidad para retener nutrimentos, con pendientes pronunciadas o que sufran sequías prolongadas, todo lo cual reduce la rentabilidad de un sistema agrícola y amenaza el equilibrio ecológico de una región.

Si bien son varias las técnicas que se pueden utilizar para no desaprovechar la parte biológica de un suelo, de la cual depende la descomposición y transformación de los residuos animales y vegetales en nutrimentos que las plantas puedan asimilar, los numerosos agentes dañinos de tipo físico (como agua, viento o temperatura) y antrópico (como la aplicación excesiva de insumos) hacen necesarias la protección y conservación de los ecosistemas mediante la combinación de ciertas estrategias de manejo orientadas al aprovechamiento racional de áreas con aptitud agrícola, ganadera o forestal.

En consecuencia, la combinación de faenas tales como la incorporación de materia orgánica, la biofertilización, la asociación y la rotación de cultivos a menudo desempeñan un papel preponderante en el aumento de la producción en la agricultura. La materia orgánica es esencial para la fertilidad de los suelos debido a que, además de mejorar su estatus microbiano, les permite almacenar nutrimentos, evita su lixiviación (esto es, el lavado de una sustancia pulverizada para extraer las partes solubles) y asegura una absorción paulatina en el tiempo y en el espacio. La biofertilización se convirtió en un aspecto central de la investigación agrícola a partir de los años 90, debido a la ineludible necesidad de restringir el empleo desmedido e irracional de los agroquímicos, aminorar la degradación en los hábitats agrícolas y fomentar el uso de tecnologías limpias orientadas a preservar la biodiversidad y obtener rendimientos sostenibles sin menoscabo del ambiente. Desde entonces, el uso de microorganismos benéficos en las labores de cultivo se ha convertido en una prioridad nacional e internacional destinada a incidir de un modo importante en la calidad de vida de los consumidores y de los propios agricultores.

Al respecto, se necesita hallar hongos y bacterias que coexisten en el suelo, los cuales a menudo establecen relaciones simbióticas o se asocian libremente con las raíces de las plantas para mejorar la absorción de agua y nutrimentos (sobre todo nitrógeno y fósforo), así como otros compuestos y humus de lombriz, los que pueden regenerar la fertilidad de los suelos y contribuir a que se sustituya gradualmente la fertilización química en áreas dedicadas a la agricultura intensiva. Ahora bien, para no perturbar o incluso perder la parte más activa de un suelo, es decir, su fracción biológica, hay diversos métodos ecológicos, entre las que destacan la labranza mínima, el acolchado del suelo (mulching), la asociación, la rotación y la siembra de cultivos de cobertura y el diseño de terrazas. Aunque los patrones de producción elegidos responderán evidentemente a las variaciones del microclima y otros factores adversos reinantes en cada hábitat agrícola (salinidad, sequía, baja fertilidad, presencia de plagas y enfermedades), a continuación se les describe someramente para que el lector tenga una idea de su efecto positivo en las relaciones entre plantas, energía y eficiencia productiva.

Labranza mínima: Esta labor implica remover y aflojar el suelo sólo en el sitio donde se va a realizar la siembra, lo que coadyuva a que éste preserve su estructura y fertilidad, se compacte adecuadamente el terreno y se ahorre mano de obra, agua e insumos. Esto es equivalente a la llamada “labranza cero”, ya

que la siembra del nuevo cultivo se efectúa una vez cosechado el cultivo anterior. En casos en que sea necesario ya que los suelos son muy compactados, se debe recurrir al arado de cincel vibratorio o rígido, nunca arado de disco.

Control biológico: El Control Biológico de Plagas es parte del Manejo Integrado de Plagas y se refiere al uso de medios biológicos para el control de plagas. Actualmente se utilizan en el control de plagas insectos, hongos entomopatógenos, bacterias, nemátodos y ácaros, que actúan sobre las plagas parasitándolas, depredándolas o causando enfermedades a los insectos plaga, remplazando así el uso de insecticidas. Por otro lado también se tiene la revaloración de especies en la conservación del suelo, ya que los microorganismos o pequeños organismos son de dos tipos: los que despedazan la materia orgánica (insectos y lombrices) y los que la descomponen liberando los nutrientes (hongos, bacterias). Viven dentro del suelo y, además de intervenir para que la materia orgánica sea nuevamente utilizada por las plantas, ayudan a pulverizar las rocas. Lombrices e insectos forman poros que permiten la aireación, el almacenaje del agua y el crecimiento de las raíces. Agua y aire ocupan los poros, espacios entre las partículas de suelo que se producen por las irregularidades de su forma y tamaño. La distribución y tamaño de los poros es importante. Una excesiva cantidad de poros pequeños origina suelos compactos, pesados, húmedos y un pobre crecimiento de las raíces. Demasiados poros grandes forman suelos sueltos que se secan rápidamente. Cuando más pequeño es el poro, más difícil es para la planta absorber agua de él. El papel de estos microorganismos podría ser especialmente importante en el páramo, ecosistema en el que se han reportado una limitación en la disponibilidad de ciertos nutrientes y lentas tasas de descomposición de materia orgánica. Por otro lado, recientes estudios han demostrado que el suelo los páramos sometidos a quemadas repetidas y a pastoreo sufre promedios de temperatura más extremos y puede perder su estructura. Estas condiciones podrían afectar negativamente a las comunidades de microorganismos y, por lo tanto, a su capacidad de mantener y recuperar la calidad del suelo.

Acolchado del suelo (mulching): El acolchado del suelo consiste básicamente en cubrirlo con materiales orgánicos (estiércol, rastrojo de cosechas, hojarasca) o inorgánicos (plásticos especiales, grava, marmolinas) para prevenir que el terreno quede expuesto al contacto directo con los elementos del tiempo y del clima, como el viento, la temperatura y la lluvia. Así, un suelo “abrigado” mantiene su estructura al permanecer protegido contra la erosión, evaporación, heladas y malas hierbas, las que son casi siempre perjudiciales para la agricultura.

Asociación de cultivos: La asociación de cultivos implica la intensificación de la productividad del suelo por unidad de superficie mediante la siembra simultánea de dos o más especies vegetales y la explotación más eficiente de los recursos disponibles. Por consiguiente, prevalece el control natural de las poblaciones de plagas e insectos y se minimiza la competencia con las malas hierbas por la luz, el agua y los nutrimentos, pero sin disminuir la interacción con otros componentes, lo cual es el foco central de la actividad agrícola.

Rotación de cultivos: El diseño y creación de estos sistemas diversificados de producción reducen los niveles de erosión, mejoran el contenido de materia orgánica, renuevan la fertilidad y promueven el aprovechamiento cíclico de los nutrimentos del suelo, de suerte que al rotar los cultivos se incrementa el rendimiento de las cosechas y se garantiza la obtención permanente de satisfactores y el establecimiento de más cultivos en una región.

Cultivos de cobertura: Las cubiertas verdes son una práctica cotidiana en aquellas parcelas en las que la prioridad es el autoconsumo; por tal motivo, se siembran ciertas especies vegetales que cubren el suelo durante los periodos de barbecho, sin importar si más adelante se incorporan o no como abono verde para aumentar la cantidad de materia orgánica y la disponibilidad de nutrimentos en el sistema de producción. Sin embargo, el contexto de cultivos de cobertura incluye cualquier vegetal sembrado con la intención de proveer cobijo al suelo y mejorar las condiciones agroproductivas de la parcela. En dicho contexto, la rotación con leguminosas como el bejuco, culebra o calapo; el frijol, el haba blanca; el bejuco de patito, el picapica, el kudzú y la veza velluda, así como el frijol de cuerno, de sangre o rojo, ha demostrado su utilidad para reducir la erosión, fijar el nitrógeno y controlar la mala hierba.

Diseño de terrazas: La formación de una terraza remite a una obra de ingeniería inventada por el hombre para habilitar montes y cerros con fines agrícolas o forestales. Así, en cada espacio de terreno llano, dispuesto a manera de escalón en una ladera, se conservan mejor los suelos, y sus posibilidades para el aprovechamiento horizontal y vertical del espacio son mejores.

Drenajes y desagües: Un suelo encharcado, con alto contenido de humedad se erosiona sencillamente, disminuye la producción de la planta y beneficia el ataque de plagas y enfermedades, por lo que es prescindible construir drenajes que desagüen el exceso de aguas.

Plantación directa: Es una práctica recomendada para conservar la estructura grumosa del suelo de la erosión, radica en sembrar directamente las semillas o plántulas, retomando el concepto de labranza mínima.

Siembra en curvas a nivel: Práctica apropiada para disminuir la erosión, sembrando en hileras siguiendo el contorno de la pendiente, cada hilera sembrada retiene el suelo que se desprende de la anterior.

Barreras vivas: Hileras de plantas de denso crecimiento que se siembran siguiendo las curvas a nivel y reducen la erosión, actuando como barreras de la acción de las aguas de escurrimiento y viento, aso como ayudando a la creación de microclimas, se recomienda el uso de especies autóctonas de la región.

Coberturas verdes y muertas: Sistema consistente en colocar coberturas verdes o muertas (pastos, hojarasca, desechos de cosecha), a manera de cubierta sobre el suelo lo que salvaguarda a este de la erosión, además de regular la humedad, temperatura y actividad biológica.

Ante lo expuesto, y tras considerar que todavía las prácticas y diseños utilizados para modificar la biodiversidad funcional de un suelo son limitados, la simple y llana idea de promover el manejo adecuado de los componentes clave en un sistema de producción con el objeto de mejorar su eficiencia y funcionalidad, es de vital importancia; sobre todo considerando las condiciones de marginalidad que por desgracia tienden a reducir el beneficio que con tanto empeño se busca en el sector agroalimentario y forestal de nuestro país. ^{[5][6]}

8.3. SISTEMA DE RIEGO

En base a la información de la tabla 49 y a los artículos publicados por el Dr. Ernesto Vázquez Fernández ^[4] se propone el diseño de un sistema móvil de riego de baja carga con goteros O-TIF ^[4] para

los cultivos de alfalfa y cebada y para el cultivo del maíz un sistema de riego más tradicional siendo por melgas por técnicas de corte posterior.

El beneficio por la venta del producto o por el consumo propio que pueden recibir los pequeños agricultores en zonas de escasa disponibilidad hídrica y escaso crecimiento económico, al emplear sistemas móviles de riego tecnificado en pequeñas parcelas es muy importante para ellos, por lo que el funcionamiento hidráulico debe ser satisfactorio. Asimismo, con el fin de que recupere lo más pronto su inversión, en la instalación es conveniente el uso de los materiales y accesorios más económicos y, por último, debe atender las recomendaciones de los extensionistas agrícolas para obtener buena producción.

El ahorro de agua que se produce con este tipo de riego, en comparación con la forma convencional por inundación o surcos, es del orden o superior al 50% por lo que el agua ahorrada puede emplearse en otras actividades, o bien, en el aprovechamiento de una mayor extensión de tierra para el cultivo.

La operación de la red de distribución es la parte medular en la eficiencia del manejo del agua. Es evidente que una red mal diseñada será más difícil de ser operada eficientemente, pero también es cierto que una red bien diseñada será igualmente ineficiente si no es operada adecuadamente. La política de operación de una red de distribución obedecerá al modo de suministrar el agua a los usuarios, y que en términos generales puede ser de tres formas: por demanda libre, por tanteos o rotación y por flujo continuo.^[4]

El suministro del agua estará dado por extracción de pozos cercanos o la planta de tratamiento de aguas residuales, el trazado de la red se configura de acuerdo a las condiciones topográficas, respetando el escurrimiento natural de la planicie, para mejor el escurrimiento dentro de las parcelas así como el drenaje, debido a las dimensiones de las parcelas se decide dividir el riego en 4 tiempos, atendiendo en cada tiempo 190 laterales en cada lado, cada lateral alimentara 2 líneas, la distancia entre surcos es de 95 cm, 70 cm de cama y 25 cm de separación entre camas de borde a borde con una distancia entre plantas de 20 a 30 cm. El diseño consiste en la emisión de flujo sea a través de perforaciones en manguera de polietileno de 17 mm, difusores, goteros o microtubos. La carga del cabezal es de 1.3 m y se desea un $EU = 0.80$, se usan goteros tipo O-Tif (color negro).

$$EU = \left[1 - \frac{1.27(CV)}{\sqrt{e}} \right] \frac{Q_n}{Q} \quad \text{Ec. (78)}$$

Donde EU es la uniformidad de emisión; e el número de emisores por planta; CV el coeficiente de variación del emisor; Q_n el gasto mínimo de emisión, en l/h; Q el gasto medio de emisión, en l/h. En la práctica, si no se conoce el valor CV propio de los emisores, se emplea el CV de los gastos medidos en campo.

$$Q = 1.36(h^{0.53}) \quad \text{Ec. (79)}$$

Donde Q es el gasto de emisión, en l/h; h es la carga de presión sobre el emisor, en m.

Sustituyendo en la ecuación 79 los valores obtenemos:

$$Q = 1.36(1.3^{0.53}) = 1.56 \text{ l/h}$$

La reducción del gasto para estimar un gasto promedio en el sistema es:

$$Q = 0.70(1.56) = 1.09 \text{ l/h}$$

El parámetro adimensional QHD se determina con la expresión:

$$QHD = \frac{Q}{\sqrt{9.81(h)\Delta x^2}} \quad \text{Ec. (80)}$$

Donde Q es el gasto medio proporcionado por el modelo numérico, en l/h; h es la carga sobre el emisor, en m; Δx es la separación entre emisores, en m.

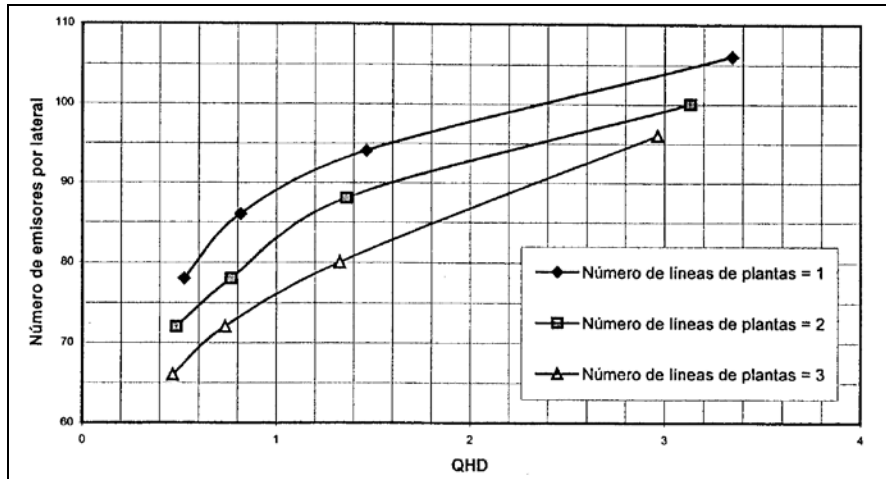


Figura 46 - Gráfica Para Diseño Con Goteros O-Tif Color Negro (EU=0.8), Manguera Distribuidora De 17 mm Y 24 Laterales De 12 mm. * [4]

Sustituyendo en la ecuación 80 obtenemos:

$$QHD = \frac{1.09}{\sqrt{9.81(1.3)0.30^2}} = 3.4$$

El valor más próximo para un número de líneas de plantas = 2 del número de emisores por lateral es de 100 (figura 47), que corresponde a un $QHD = 3.1$.

El área de riego cubriendo ambos lados de las mangueras distribuidoras está dada por la siguiente ecuación:

$$A = 4(12)N_t N_e (Dx^2)$$

Donde A es el área de riego, en m^2 ; N_t el número de líneas de plantas; N_e el número de emisores por lateral.

Sustituyendo

$$A = 4(12)(2)(100)(0.30^2) = 864 \text{ m}^2$$

El gasto medio corregido será:

$$Q = 3.1\sqrt{(9.81)(1.3)(0.30^2)} = 1 \text{ l/h}$$

El gasto total de alimentación al sistema es de:

$$Q_s = (100)(190)(1) = 19,000 \frac{l}{h} = 19 m^3/h$$

Si se requieren 2 riegos cada uno de 216 mm, se necesitaran para un área de 864 m² una volumen de agua de 186.62 m³. Por lo que dividiendo Q_s entre este volumen nos da que se necesitaría regar 10 hrs aproximadamente para aplicar dicha lámina.

De la misma forma se aplica el sistema de riego para el área de la cebada, que por ser casi de las mismas características que el trigo se adopta el mismo diseño. Para el caso del cultivo de maíz se decide por las condiciones del cultivo y su localización topográfica que el riego sea por surcos por el método de corte posterior, este procedimiento en realidad es una variante del riego continuo, consiste en alimentar un gasto constante hasta que el agua alcanza el final de la parcela, una vez ocurrido esto, se reduce el gasto a la mitad y se continúa así hasta el final del riego. También es este caso se pueden emplear surcos (o melgas) cerrados, la decisión de cerrarlos depende principalmente de las condiciones de lluvia en el sitio; esto es, cuando la precipitación probable es baja se pueden cerrar. Cabe resaltar que al implementar este tipo de riego en surcos es muy sencillo, pues si se usan dos sifones, basta con retirar uno para completar el riego.

La eficiencia en el riego por gravedad es un parámetro muy importante a considerar en los riegos por gravedad, se define como:

$$\eta = \frac{V_u}{V_t} \quad \text{Ec. (81)}$$

Donde η es la eficiencia de aplicación; V_u el volumen útil, en m³ y V_t el volumen total aplicado, en m³.

El volumen útil se calcula como el producto de la dosis por la longitud de la parcela (surco o melga) y el ancho. El volumen total aplicado se calcula como el producto del gasto por el tiempo de riego; si existe una reducción del gasto se tendrá que asociarse cada gasto empleado con el tiempo de riego correspondiente.

Uno de los criterios de diseño simplificado existentes usado para seleccionar las principales dimensiones de melgas y surcos, es el uso de tablas que reflejan el conocimiento empírico sobre el tema, uno de ellos es el propuesto por Booher, 1974 ^[1], de cual se extrae la tabla 52.

Tabla 52 - Longitudes Máximas De Recorrido En Surcos (ARCILLAS).

S (%)	Dosis 7.5 cm	Dosis 15.0 cm	Dosis 22.5 cm	Dosis 30.0 cm
0.05	300	400	400	400
0.10	340	44	470	500
0.20	370	470	530	620
0.30	400	500	620	800
0.50	400	500	560	750
1.00	280	400	500	600
1.50	250	340	430	500

S (%)	Dosis 7.5 cm	Dosis 15.0 cm	Dosis 22.5 cm	Dosis 30.0 cm
2.00	220	270	340	400

*[1]

La principal desventaja del uso de tablas, es que no ofrecen información sobre la eficiencia de aplicación, ni tampoco es posible determinar cómo se afecta el diseño al variar alguno de los parámetros.

El procedimiento de diseño es el propuesto por el USDA, el cual también se apoya en la clasificación de velocidades de infiltración de la ecuación 82.

$$F = aT^b + c \quad \text{Ec. (82)}$$

Donde F es la infiltración acumulada, en mm; T el tiempo de infiltración, en min y a, b, c son constantes para cada tipo de suelo (tabla 53). El procedimiento más comúnmente utilizado para seleccionar la familia de infiltración, consiste en dibujar la gráfica de infiltración acumulada obtenida en campo y compararla con las obtenidas al emplear la ecuación 82; la curva más parecida indicará la familia de infiltración correspondiente.

Tabla 53 - Parametros De Infiltración Acumulada (a, b, c) Y Coeficientes De Avance En Surcos (f, g).

Familia de infiltración	a	b	c	f	g (10 ⁻⁴)
0.05	0.5334	0.618	7.0	7.16	1.088
0.10	0.6198	0.661	7.0	7.25	1.251
0.15	0.7110	0.683	7.0	7.34	1.414
0.20	0.7772	0.699	7.0	7.43	1.578
0.25	0.8534	0.711	7.0	7.52	1.741
0.30	0.9246	0.720	7.0	7.61	1.904
0.35	0.9957	0.729	7.0	7.70	2.067
0.40	1.0640	0.736	7.0	7.79	2.230
0.45	1.1300	0.742	7.0	7.88	2.393
0.50	1.1960	0.748	7.0	7.97	2.556
0.60	1.3210	0.757	7.0	8.15	2.883
0.70	1.4430	0.766	7.0	8.33	3.209
0.80	1.5600	0.773	7.0	8.50	3.535
0.90	1.6740	0.779	7.0	8.68	3.862
1.00	1.7860	0.785	7.0	8.86	4.188
1.50	2.2840	0.799	7.0	9.76	5.819
2.00	2.7530	0.808	7.0	10.65	7.451

*[1]

La principal desventaja del uso de tablas, es que no ofrecen información sobre la eficiencia de aplicación, ni tampoco es posible determinar cómo se efectúa el diseño al variar algunos de los parámetros.

El área a regar es de 25 ha, formada por un triángulo irregular de dimensiones 622.5x792.7 e hipotenusa de 933.2 m, se va a regar con surcos cerrados y corte posterior, se espera tener una *eficiencia* mayor al 80%, la familia de infiltración corresponde a $IF = 0.3$; $a = 0.9246$; $b = 0.720$; $c = 7$; $f = 7.61$ $g = 1.904 \times 10^{-4}$. La dosis (F_n) de cada riego (4 riegos) debe ser de 117 mm y el ancho (B) correspondería a la hipotenusa de la poligonal (933.2 m). La altura del surco es de 150 mm, pose un Manning de $n = 0.05$ y la pendiente del terreno (S_0) es de 0.0056, el espaciamiento entre surcos (W) es de 0.75 m y la longitud de surco más larga es de 536 m.

El número de surcos se obtiene al dividir $933.2 \text{ m} / 0.75 \text{ m} = 1244.26 = 1,244$ surcos

Las formulas usadas a continuación y para otros tipos de riego son obtenidas de la bibliografía ^[1]. Como el cálculo va a ser para surcos cerrados y empleando la técnica de corte posterior se usan primeramente las fórmulas de riego continuo y después las de corte posterior.

El gasto necesario para obtener esta eficiencia máxima (50%) en el riego continuo es de **0.52** l/s y se obtuvo mediante el siguiente proceso iterativo, primero se calcula el factor β para obtener el tiempo de avance con la siguiente ecuación:

$$T_T = \frac{L}{f} (e^\beta) \quad \text{Ec. (83)}$$

Después se obtiene el perímetro mojado:

$$P = 0.265 \left(\frac{Q(n)}{S_0^{0.5}} \right)^{0.425} \quad \text{Ec. (84)}$$

El tiempo de oportunidad de infiltración se obtiene con:

$$T_n = \left(\frac{F_n(W/P) - c}{a} \right)^{1/b} \quad \text{Ec. (85)}$$

El tiempo de riego es:

$$T_l = T_T + T_n \quad \text{Ec. (86)}$$

La lamina de aplicación total:

$$F_g = \frac{60(Q)(T_l)}{W(L)} \quad \text{Ec. (87)}$$

El tiempo de oportunidad de infiltración es:

$$T_{0L} = T_l - \frac{0.0929}{(f)(L) \left(\frac{0.305(\beta)}{L} \right)^2} [(\beta - 1)e^\beta + 1] \quad \text{Ec. (88)}$$

La infiltración promedio acumulada se calcula con:

$$F_{0L} = (a(T_{0L}^b) + c) \left(\frac{P}{W} \right) \quad \text{Ec. (89)}$$

El escurrimiento en exceso es la diferencia entre:

$$R0 = F_g - F_{0L} \quad \text{Ec. (90)}$$

La percolación profunda es la diferencia entre:

$$DP = F_{0L} - F_n \quad \text{Ec. (91)}$$

La eficiencia para surcos con riego continuo se obtiene con:

$$AE = \frac{100(F_{0L} - DP)}{F_g} \quad \text{Ec. (92)}$$

Con las ecuaciones anteriores se busca el gasto óptimo que de la mayor eficiencia, una vez encontrado con estos datos de (Q , T_T y P) se pasa al cálculo del riego por corte posterior.

Para el riego por corte posterior la reducción del gasto a la mitad requiere que sean recalculadas las ecuaciones 84 (Ahora denominada P_l), 85, 86, 90, 91 y 92, para después con las formulas adaptadas al corte posterior encontrar la nueva eficiencia de riego. El tiempo de oportunidad de infiltración ahora se calculara como:

$$T_{0avg} = \frac{0.0929}{(f)(L) \left(\frac{0.305(\beta)}{L} \right)^2} [(\beta - 1)e^\beta + 1] \quad \text{Ec. (93)}$$

La infiltración acumulada promedio se obtiene con:

$$F_{0L} = (a(T_l - T_{0avg})^b + c) \left(\frac{P}{W} \right) + (a(T_{0avg})^b + c) \left(\frac{P - P_l}{W} \right) \quad \text{Ec. (94)}$$

La aplicación total se obtiene con:

$$F_g = \frac{60}{W(L)} ((Q)(T_l) + (Q/2)(T_n)) \quad \text{Ec. (95)}$$

De la misma forma que para el riego continuo se calcula el escurrimiento en exceso ($R0$), la percolación profunda (DP) y la eficiencia (AE). El volumen total a emplear es:

$$Vol = N_{surc}(60) \frac{(T_r(Q) - T_n(Q/2))}{1000} \quad \text{Ec. (96)}$$

Con la implementación de las ecuaciones anteriores se llega a los resultados mostrados en la tabla 54

Tabla 54 - Parametros Del Reigo Con Surcos.

Gasto propuesto	Q	0.52	l/s
RIEGO CONTINUO			
Tiempo promedio de oportunidad de infiltración	β	2.61	
Tiempo avance	T_T	955.85	min
Perímetro mojado	P	0.38	m
Tiempo de oportunidad	T_n	2038.98	min
Tiempo de riego	T_I	2994.82	min
Aplicación total	F_g	233.74	mm
Tiempo de oportunidad de aplicación	T_{OL}	2758.81	min
Infiltración promedio acumulada	F_{OL}	144.59	mm
Escurrimiento en exceso	R_0	89.15	mm
Percolación profunda	DP	27.59	mm
Eficiencia	EA	50	%
CORTE POSTERIOR			
reduciendo gasto a la mitad	Q_2	0.26	l/s
Perímetro mojado	P_2	0.34	m
Tiempo de oportunidad	T_{n_2}	2382.66	min
Tiempo de riego	T_{I_2}	3338.50	
	T_{0avg2}	236.02	min
infiltración promedio acumulada	F_{OL}	143.67	mm
aplicación total	F_{g_2}	167.58	mm
Escurrimiento en exceso	R_0	23.91	mm
Percolación profunda	DP	26.67	mm
Eficiencia	AE	70	%
El volumen total a emplear	Vol	83807.22	m ³
Q total ₁		650.52	l/s
Q total ₂		325.26	l/s
Manning			
Revisión para cerrarlo			
	T_T/T_n	0.4012	
	Q_{max}	1.07142857	$Q_2 < Q_{max}$
<i>Tirante en surco</i>			
talud	z	0.5	
base	b	0.3	m
	Q_s	0.00026	m ³ /s
<i>Manning</i>			
	y	0.022	m
	Q_s	0.00026	m ³ /s
Tiempo de oportunidad	T_n	2382.66	min
Tiempo promedio de oportunidad de infiltración	β	5.22	
	T_{0avg}	4392.71	min

Tiempo de aplicación	TI	4612.03	min
aplicación total	Fg	179.98	mm
Percolación profunda	DP	62.98	mm
Eficiencia	AE	65.01	%

BIBLIOGRAFÍA

1. Gracia Sánchez J; INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ZONAS DE RIEGO Y DRENAJE; Instituto de Ingeniería - UNAM; Serie Blanca CI-26; Noviembre 2002.
2. Cisneros Almazán R.; APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Facultad de Ingeniería; 2005.
3. Lesur, Luis; MANUAL DEL RIEGO AGRÍCOLA: UNA GUÍA PASO A PASO; Trillas, México; 2006.
4. Vázquez Fernández, Ernesto, et. al.; DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO DE BAJA CARGA EN PARCELAS PEQUEÑAS; Instituto de Ingeniería – UNAM, México.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

5. <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol23num2/articulos/suelos/>
6. <http://organicsa.net/productores-1>

9. PROYECTO DE DRENAJE

Las raíces de las plantas necesitan del aire tanto como del agua. Si las condiciones climáticas, la topografía, los suelos y las prácticas de riego se combinan para causar el anegamiento prolongado de la zona de las raíces, disminuyen los rendimientos e incluso se pierden las cosechas. Esta situación se agrava cuando el agua freática es salina.

El drenaje es necesario para eliminar los escurrimientos excesivos de agua y evitar que el suelo se sature, es decir, que haya una cantidad de agua disponible en el suelo superior a la que necesitan las plantas para su desarrollo. Retirar el agua excesiva es necesario también para mantener una ventilación adecuada del suelo. Las obras de drenaje en los campos de cultivo son innecesarias cuando los suelos se drenan libremente, sin embargo, casi siempre hay fallas, por lo que es necesario establecer ayudas.

Cuando se desea que todas las partes del terreno reciban agua en suficiente cantidad, algunas zonas se riegan en exceso. Este exceso se debe drenar para evitar que se acumule. Se estima que por lo menos 15% del agua aplicada en el riego por superficie y aspersión se debe drenar y, en casos extremos de inundación no controlada, hasta 85%. El riego por goteo es un caso especial, porque aunque la entrada de agua al suelo es casi continua, se equilibra con las necesidades de uso de agua de las plantas.^[3]

Con un drenaje deficiente hay una mayor evaporación que resta calor al suelo. A su vez, la evaporación del agua hace que se acumule en el suelo una mayor cantidad de sales. Dado que un suelo anegado necesita más tiempo para calentarse, se retarda la siembra y se acorta la temporada de crecimiento del cultivo.

La saturación de agua y el encharcamiento dificultan la circulación de aire en el suelo, impidiendo el crecimiento del cultivo y la actividad bacteriana y favorece el desarrollo de ciertas enfermedades. Un sistema de riego bien planeado y construido nunca causará problemas de saturación, pues el drenaje será parte del proyecto del campo de cultivo, y estará diseñado como medida preventiva.

9.1. TIPOS DE DRENAJE

Algunos terrenos cuentan con drenaje natural. Cuando no lo tienen es necesario construirlo en forma artificial. Los sistemas de drenaje pueden ser de dos tipos: el que se hace en la superficie mediante canales abiertos, y el que se realiza en el subsuelo por medio de tubos o drenes subterráneos.

El drenaje de una zona agrícola puede dividirse en dos partes, una corresponde al drenaje superficial y la otra al subsuperficial. El primero se emplea para extraer el agua que escurre sobre los terrenos ya sea que esta se deba a un exceso de riego o lluvia. El segundo se utiliza para extraer el agua de gravedad que Saura los perfiles de suelo, causado generalmente por el ascenso del nivel freático.

El drenaje superficial se requiere en terrenos que se encharcan debido principalmente a^[2]:

- a) Terrenos dispares con hoyos y lomas que evitan o retardan el escurrimiento natural. Suelos poco permeables agravan el problema.
- b) Baja capacidad de desalojo de los canales producen una lenta remoción del agua por lo tanto se produce un alto nivel en los canales, que causan encharcamientos sobre el suelo por periodos dañinos (insuficiencia de los canales).

- c) Condiciones de salida que mantienen altos niveles de agua, tales como lagos encharcamientos o mareas elevadas.

Los métodos de solución a los problemas de drenaje superficial son: nivelación, emparejamiento, zanjamientos que conduzca el agua a canales naturales o artificiales. Las evacuaciones inadecuadas pueden requerir el mejoramiento de las salidas para evitar los remansos, incluso el bombeo. Los sistemas de desviación son deficientes para prevenir o reducir el encharcamiento del agua superficial cuando la fuente está fuera del área a proteger.

El perfil de la superficie del agua es el elemento fundamental de diseño. Usualmente la determinación de las condiciones de salida del drenaje de superficie, parten determinar el punto de control hidráulico más bajo con el cual se realizará el diseño. Otros puntos de control son las elevaciones del terreno en las zonas más bajas, o bien las alcantarillas, puentes y vertedores. El diseño de los sistemas de descarga entonces, el cálculo de la superficie libre del agua a través de los puntos de control para las secciones de zanjas conocidas o propuestas. ^[1]

El teorema de Bernoulli es el comúnmente empleado para calcular el gradiente hidráulico en condiciones de flujo establecido. Las pérdidas de energía debidas a la fricción son determinadas con la fórmula de Manning. Las pérdidas en las reducciones tales como alcantarillas y los puentes se calculan con las fórmulas tradicionales de la hidráulica general. Si se desea calcular el flujo transitorio en la red de drenaje, pueden emplearse modelos numéricos para determinar los tirantes y las velocidades en cada sección.

El **drenaje subsuperficial o parcelario** tiene como objetivo principal el controlar la posición del nivel freático. Se puede realizar mediante perforados o zanjas, su principio de funcionamiento es el mismo. Existen diferentes teorías para presentar el funcionamiento del drenaje subsuperficial, una de las más antiguas es la de Dupuit – Forcheimer, que aunque tienen varias limitaciones permite entender bien el funcionamiento de los drenes.

9.2. SISTEMA DE DRENAJE

Los datos de lluvia más importantes para el diseño del sistema de drenaje agrícola, son la lluvia acumulada de varios días (“Tren de lluvias”). En otras palabras más importantes que las condiciones extremas de precipitación de un día, interesa la secuencia de ellas que pueden afectar a los cultivos. En cada sitio esto será diferente, sin embargo secuencias de 3 días es aceptable como aproximación general. La determinación de los trenes de lluvia para diseño, puede hacerse construyendo una gráfica donde se representen las alturas totales de precipitación que ocasionen los trenes de lluvias máximos de cada año, según su periodo de retorno y la ecuación que ajusta tal relación.

Uno de los datos agrológicos más importantes que se deberá disponer, es la relación entre la posición del nivel freático y el rendimiento del cultivo. Esta información sirve para diseñar el sistema de drenaje secundario, además permitir el cálculo del rendimiento en el área estudiada según la posición de dicho nivel freático. Otro dato importante es la determinación del descenso de producción de los cultivos según los días de inundación a que estén sometidos.

Para cada periodo de retorno se tendrá una cierta área de inundación, la cual consta de tres partes: zona con inundación total, zona con inundación parcial y zona libre de inundación. En otras palabras, para cada Tr habrá necesidad de determinar la producción agrícola de acuerdo a las características (o magnitud) de la inundación

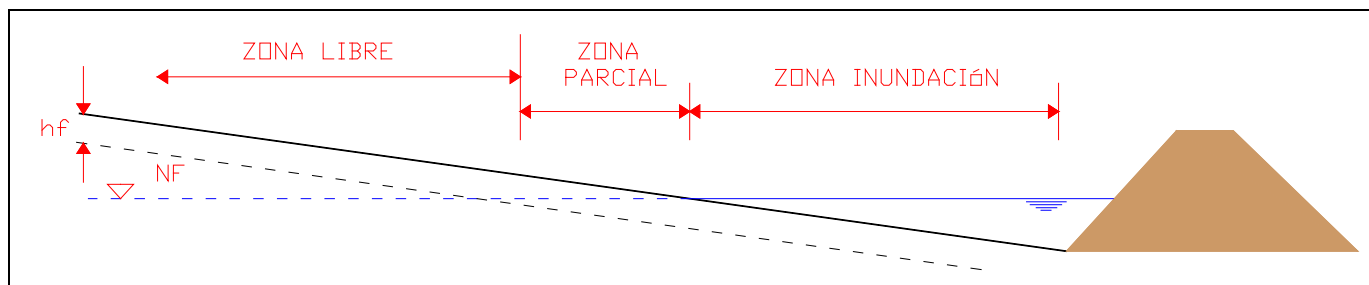


Figura 47 - Tipos De Inundación.

*[1]

Bajo las condiciones descritas del lugar el sistema de drenaje propuesto es superficial, dicho sistema consta fundamentalmente de un sistema de canales que constituyen el drenaje superficial, y tienen como función principal el recolectar y transportar el agua de lluvia. El problema de diseño del sistema consiste en determinar la alternativa de diseño que reporte los máximos beneficios al menor costo, dado que para diferentes periodos de retorno de las lluvias, se tendrán diferentes necesidades de drenaje, áreas inundadas, beneficios, etc.

Para determinar las opciones de drenaje se deberá efectuar un análisis de factibilidad económica, pero antes deberán ser determinadas las posibles alternativas técnicas, el procedimiento a seguir se enlista a continuación ^[1]:

- Calcular para cada Tr el tren de lluvias representativo.
- En cada tren de lluvias, determinar mediante algún procedimiento hidrológico la parte de la lluvia que se infiltra y la que escurre.
- Proponer para un T ruan opción de drenaje.
- Para esa opción de drenaje, determinar para cada Tr las zonas con inundación total, parcial y libre. Esto se puede hacer mediante un balance hidráulico que considere el agua que aporta el tren de lluvias, el agua que esté sacando el sistema de drenaje y el agua almacenada en cada zona del área por drenar.
- Calcular el daño evitado para cada alternativa de drenaje (otros Tr)
- Repetir el procedimiento para otros Tr .

El diseño del sistema de drenaje consiste esencialmente en determinar el espaciamiento y la profundidad de los drenes. En la práctica la profundidad e los drenes se recomienda entre 1.5 y 2 veces la profundidad óptima del nivel freático. El espaciamiento debe determinarse considerando el movimiento transitorio del nivel freático. Esto puede hacerse mediante un balance hídrico del agua que fluye hacia los drenes, la de se almacena en el terreno y el aporte de la lluvia.

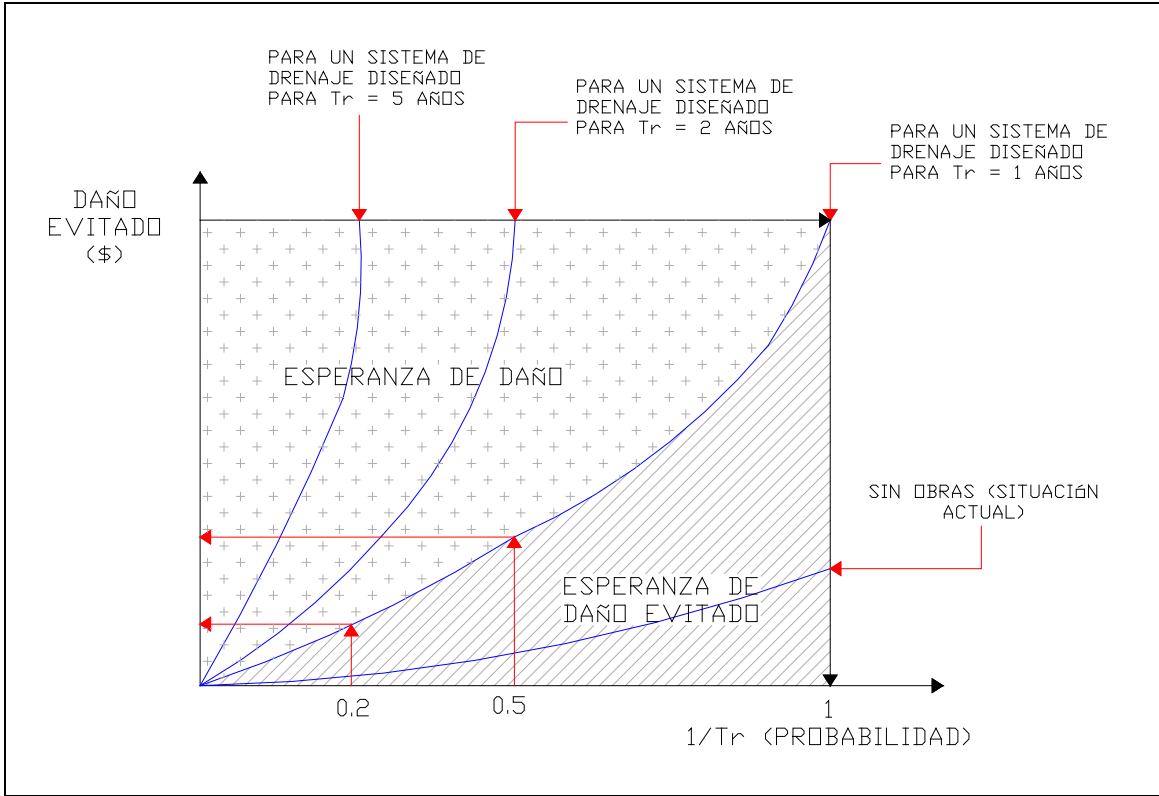


Figura 48 - Relación Entre Daño Evitado Y Probabilidad.
*[1]

En los sistemas de drenaje agrícola, los beneficios deben interpretarse como el daño evitado. El rendimiento total según el área y grado de inundación, puede entonces obtenerse con:

$$Y = C \sum_{i=1}^n A_i F_i \quad \text{Ec. (97)}$$

Donde Y es la producción final de la zona (ton); i el índice para cada área, según el tipo de inundación y los días de sumergencia; A_i es el área con algún tipo de inundación, en ha; C es la producción óptima del cultivo, en ton/ha; F_i es el factor que depende del tipo de inundación y el número de días de la misma.

Con esto es posible determinar el rendimiento de la zona de drenaje, según las características y magnitud de la inundación. Por lo tanto es posible determinar una gráfica que relacione, las pérdidas evitadas y la probabilidad de ocurrencia ($1/Tr$). Esta relación se presenta en la figura 49, obsérvese que el área bajo cada curva (Tr) representa la esperanza de beneficio y la parte superior la esperanza pérdida. Siendo cada curva la representación de los beneficios obtenidos con el diseño del sistema de drenaje para cada periodo de retorno.

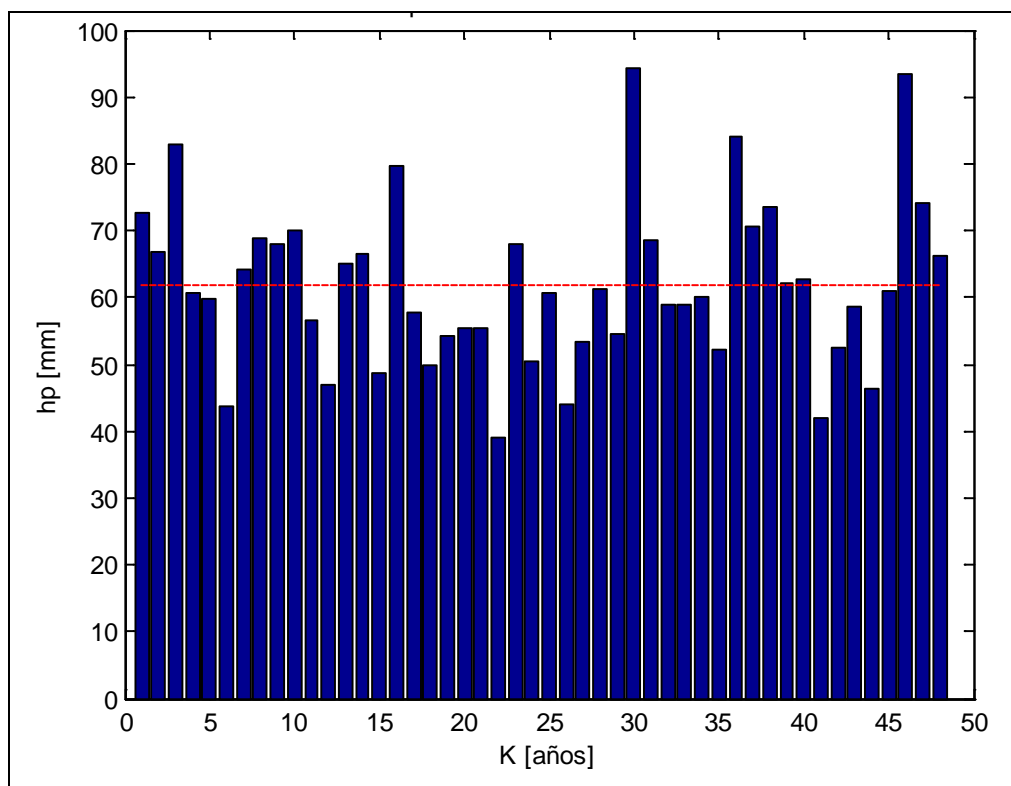


Figura 49 - Precipitación Máxima Anual Para Tren De Lluvia De 3 Días.

Los datos de la zona agrícola a proteger son los siguientes:

Pendiente del terreno: $S_0 = 0.0065$

Largo de la zona: $Lz = 1,225 \text{ m}$

Ancho de la zona: $Az = 933 \text{ m}$

Permeabilidad: $K = 0.015 \text{ m/día}$ (Tabla 29)

Porosidad drenable: $S = 0.15$

Numero hidrológico: $N = 80$

Prof. Capa imperm: $PCI = 10 \text{ m}$

Lluvia media 3 días: $hp_m = 61.80 \text{ mm} = 0.062 \text{ m}$

Distribución lluvia: $hp_1 = 0.0124 \text{ m}$ (20%); $hp_2 = 0.0279 \text{ m}$ (45%) y $hp_3 = 0.0217 \text{ m}$ (35%)

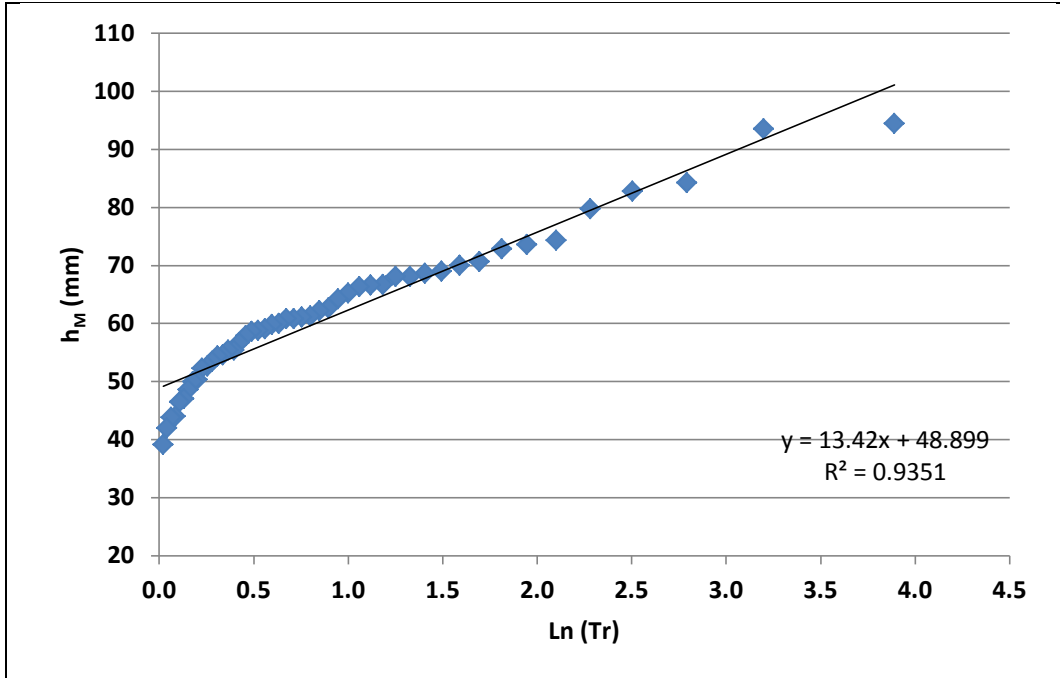


Figura 50 - Relación De Lámina De Lluvia Con Tr Para Un Tren De Lluvia De 3 Días

La relación entre la profundidad del nivel freático y la producción está dada en la siguiente tabla:

Tabla 55 - Relación Entre La Profundidad Del Nivel Freático Y La Producción.

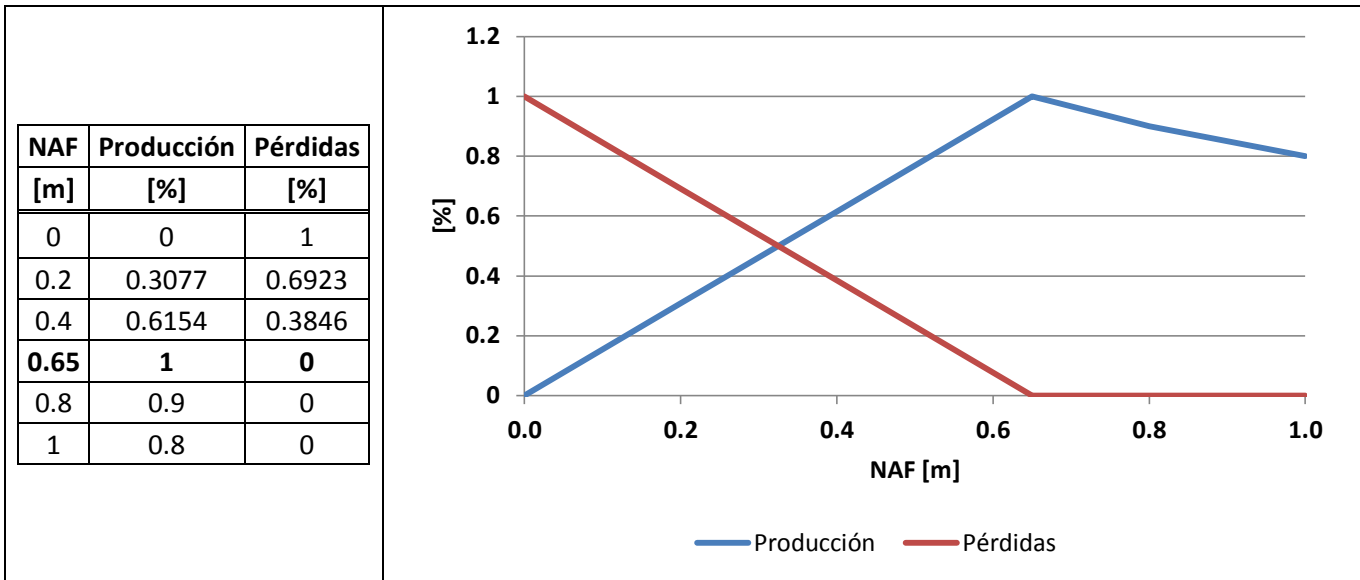


Figura 51 - Relación Entre La Profundidad Del Nivel Freático Y La Producción.

Cantidad de agua que le cabe al suelo en saturación es:

$$Asat = 0.65(0.15) = 0.0975 \text{ m}$$

Las láminas para los trenes de lluvia para diferentes periodos retornos y su distribución son:

Tabla 56 - Láminas De Lluvia Asociadas A Diferentes Períodos De Retorno.

Tr [años]	hp _{M3} [m]	Tr [años]	hp ₁ [m]	hp ₂ [m]	hp ₃ [m]
1	0.13	1	0.027	0.060	0.047
3	0.19	3	0.038	0.085	0.066
5	0.21	5	0.043	0.096	0.075
10	0.25	10	0.049	0.111	0.086

El cálculo de las láminas de escurrimiento (Q) e infiltración (Y):

$$S = \frac{25,400}{N} - 254 = 63.5 \quad \text{Ec. (98)}$$

$$Q = \frac{(hpi(1000) - 0.2(S))^2}{hpi(1000) + 0.8(S)} \quad \text{Ec. (99)}$$

Tabla 57 - Láminas De Escurrimiento Asociados A Diferentes Períodos De Retorno.

Q [m]	Tr ₁	Tr ₃	Tr ₅	Tr ₁₀
hp ₁	0.0026	0.0070	0.0096	0.0134
hp ₂	0.0205	0.0382	0.0471	0.0598
hp ₃	0.0120	0.0242	0.0305	0.0396

$$Y = hpi - Qi \quad \text{Ec. (100)}$$

Tabla 58 - Lámina Infiltrada Asociada A Diferentes Periodos De Retorno.

Y [m]	Tr ₁	Tr ₃	Tr ₅	Tr ₁₀
hp ₁	0.0243	0.0306	0.0330	0.0359
hp ₂	0.0399	0.0464	0.0487	0.0513
hp ₃	0.0350	0.0416	0.0440	0.0468
Lacum ₂	0.0642	0.0770	0.0817	0.0872
Asat	ALMACENA	ALMACENA	ALMACENA	ALMACENA
Lacum ₃	0.0992	0.1186	0.1257	0.1340
Asat	ESCURRE	ESCURRE	ESCURRE	ESCURRE

Tabla 59 - Láminas Corregidas De Escurrimiento Asociados A Diferentes Períodos De Retorno.

Q _{corr} [m]	Tr ₁	Tr ₃	Tr ₅	Tr ₁₀
hp ₁	0.0026	0.0070	0.0096	0.0134
hp ₂	0.0205	0.0382	0.0471	0.0598
hp ₃	0.0132	0.0448	0.0582	0.0756

Tabla 60 - Lámina Corregida Infiltrada Asociada A Diferentes Periodos De Retorno.

Y _{corr} [m]	Tr ₁	Tr ₃	Tr ₅	Tr ₁₀
hp ₁	0.0243	0.0306	0.0330	0.0359

Ycorr [m]	Tr₁	Tr₃	Tr₅	Tr₁₀
hp ₂	0.0399	0.0464	0.0487	0.0513
hp ₃	0.0350	0.0416	0.0440	0.0468

Es aconsejable que para determinar la capacidad de los canales, se considerará que deben caber en ellos la precipitación no infiltrable del día con máxima altura de lluvia para el Tr = 1 años. Se proponen las dimensiones de los drenes y se revisa el volumen que cabe en ellos.

Con la sección de canal propuestas (para perímetro e internas) se revisa si cabe el tirante para el gasto máximos probable en un Tr = 1 año, los gastos para cada día se muestra en las tabla 59, en ellas se aprecia que el escurrimiento máximo ocurre el segundo día y es de 0.20 m³/s para el caso del análisis para todo el terreno y de 0.009 m³/s para el caso de los canales internos, considerando que el ancho que drenan es de 3 m y analizando para el caso de la longitud más larga de 1,225 m. Los tirantes originados se calculan mediante la ecuación de Manning, los resultados se pueden consultar en la tabla 54. Del análisis se concluye que bajo las condiciones de estudio la lámina de agua para un Tr = 1 año cabe en los canales y puede ser desalojada sin mayores complicaciones.

Tabla 61 - Escurrimiento en Canales Pluviales Perimetrales.

Tr₁ Días lluvia	Q [m]	A_{Terreno} [m²]	Vol. [m³]	t [s]	Q [m³/s]
hp ₁	0.0026	865860	2251	86400	0.0261
hp ₂	0.0205	865860	17750	86400	0.2054
hp ₃	0.0132	865860	11429	86400	0.1323

Tabla 62 - Secciones Canales Pluviales Perimetrales.

S	b [m]	KI	KD	B [m]	H [m]	TIPO SECCIÓN	Tr años
0.0065	0.3	0.5	0.5	0.8	0.5	TRAPECIAL	1

Tabla 63 - Secciones Canales Pluviales Perimetrales.

n	Q*n/So^{1/2}	A*Rh^{2/3}	y_n [m]	A [m²]	P [m]	B [m]	Rh [m]	V [m/s]	Froude
0.02	0.06	0.06	0.40	0.20	1.20	0.70	0.17	1.02	0.51

Tabla 64 - Escurrimiento en Canales Pluviales Perimetrales.

Tr₁ Días lluvia	Q [m]	A_{Lateral} [m²]	Vol. [m³]	t [s]	Q [m³/s]
hp ₁	0.0026	3675	10	86400	0.0001
hp ₂	0.0205	3675	75	86400	0.0009
hp ₃	0.0132	3675	49	86400	0.0006

Tabla 65 - Secciones Canales Pluviales Perimetrales.

S	b [m]	KI	KD	B [m]	H [m]	TIPO SECCIÓN SECCIÓN	Tr años
0.0065	0.30	0.50	0.50	0.45	0.15	TRAPECIAL	1

Tabla 66 - Secciones Canales Pluviales Perimetrales.

n	Q*n/So ^{1/2}	A*Rh ^{2/3}	y _n [m]	A [m ²]	P [m]	B [m]	Rh [m]	V [m ³ /s]	Froude
0.02	0.00	0.00	0.027	0.01	0.36	0.33	0.02	0.28	0.54

Ahora se procede a hacer el análisis de los impactos de las lluvias asociados a diferentes periodos de retorno, primero se analizará el sistema de drenaje para un sistema de drenaje con un Tr de diseño de un año, el cual es capaz de extraer la lámina del día de escurrimiento máximo para ese periodo de retorno, de la misma forma se procede para Tr = 3, 5 y 10 años mediante un balance hídrico simple entre Ingresos (lluvia) y Salidas (capacidad de desalojo del drenaje) se obtienen la lámina almacenado, con esa lámina se multiplica por el área cultivada y restando menos el volumen de desalojo de las obras de drenaje se obtienen los volúmenes de inundación, con ello se pueden obtener las áreas de inundación y por lo tanto el alcance se obtienen mediante una relación de terrenos.

Para Tr = 1 la capacidad del drenaje es de 0.021 m y la capacidad del drenaje es de 17,750 m³ (hp_{max}*A_{terreno}), en las siguientes tablas se muestra el resumen de los cálculos antes descritos, la primer columna son los días y se designa con (D), para la segunda columna se ponen los ingresos y se designa con (I), para la tercera columna se designa (S) para las salidas, la A se refiere a la lámina almacenada, V.I. es el Volumen de Inundación, Á. I. es el área de inundación y A.I. por D. es el área inundada por cada día $A.I \text{ por } D = \sqrt{0.33(A.I.)(0.0933)}$, que proviene de la relación del prisma formado por el volumen de inundación, que es un prisma rectangular y su base menor esta dad por la pendiente por la longitud del espejo de inundación .

Tabla 67 - Revisión Drenaje (Tr = 1) Para Tr = 3.

D [día]	I [m]	S [m]	A [m]	V. I. [m ³]	Á I. [ha]	A.I. por D [ha]
1	0.007	0.021	0.000	0	0	5.74
2	0.038	0.021	0.018	0	0	1.58
3	0.045	0.021	0.042	18616	7.31	
4	0.000	0.021	0.022	866	1.58	
5	0.000	0.021	0.001	0	0	

Tabla 68 - Revisión Drenaje (Tr = 1) Para Tr = 5.

D [día]	I [m]	S [m]	A [m]	V. I. [m ³]	Á I. [ha]	A.I. por D [ha]
1	0.010	0.021	0.000	0	0	2.82
2	0.047	0.021	0.027	5282	3.90	3.72
3	0.058	0.021	0.064	37925	10.44	1.26
4	0.000	0.021	0.044	20175	7.61	2.64
5	0.000	0.021	0.023	2424	2.64	

Tabla 69 - Revisión Drenaje (Tr = 1) Para Tr = 10.

D [día]	I [m]	S [m]	A [m]	V. I. [m³]	Á I. [ha]	A.I. por D [ha]
1	0.013	0.021	0.000	0	0	2.03
2	0.060	0.021	0.039	16278	6.84	2.48
3	0.076	0.021	0.094	63987	13.56	2.21
4	0.000	0.021	0.074	46237	11.52	1.28
5	0.000	0.021	0.053	28487	9.05	5.55
6	0.000	0.021	0.033	10737	5.55	

En resumen las áreas inundadas para este alternativa se muestra en la siguiente tabla, y de la mismo forma se muestran los resultados si se diseña el sistema de drenaje con Tr mayores.

Tabla 70 - Revisión Área Inundadas Para Un Drenaje De Tr = 1.

Tr (Diseño) = 1	Áreas Inundada por cada día [ha]				
Tr [años]	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
3	5.7357	1.5771	0	0	0
5	2.8248	3.7176	1.2562	2.639	0
10	2.0329	2.4787	2.2079	1.2846	5.5536

Tabla 71 - Revisión Área Inundadas Para Un Drenaje De Tr = 3.

Tr (Diseño) = 3	Áreas Inundada por cada día [ha]				
Tr [años]	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
10	7.1927	0	0	0	0

Tabla 72 - Revisión Área Inundadas Para Un Drenaje De Tr = 5 y 10.

Tr (Diseño) = 5 y 10	Áreas Inundada por cada día [ha]				
Tr [años]	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0

El cálculo de las pérdidas por inundación (en función del cultivo) se estiman en:

Tabla 73 - Pérdidas Por Cada Día De Inundación.

Días	1	2	3	4	5
%	0.06	0.1	0.2	0.35	0.55

Para los beneficios como el área mayormente afectada es la del cultivo del maíz, los cálculos se hacen en base a este cultivo, los datos usados son de la tabla 27 y 40, sus datos son área de 25 ha, un rendimiento de cultivo de 16 ton/ha y los beneficios son de 3,105 \$/ton. Por lo tanto los beneficios para cada alternativa de drenaje se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 74 - Beneficios Esperados Para Cada Alternativa De Drenaje.

Drenaje Tr = 1	Producción (\$)	Drenaje Tr = 3	Producción (\$)	Drenaje Tr = 5	Producción (\$)	Drenaje Tr = 10	Producción (\$)
Tr = 1	1,242,000	Tr = 1	1,242,000	Tr = 1	1,242,000	Tr = 1	1,242,000
Tr = 3	1,217,068	Tr = 3	1,242,000	Tr = 3	1,242,000	Tr = 3	1,242,000
Tr = 5	1,156,743	Tr = 5	1,242,000	Tr = 5	1,242,000	Tr = 5	1,242,000
Tr = 10	1,027,606	Tr = 10	1,220,560	Tr = 10	1,242,000	Tr = 10	1,242,000

Se grafican (figura 53) dichos valores asociándolos a su probabilidad de ocurrencia para después calcular el área bajo cada curva (esperanza de beneficio o daño evitado) usando la regla de los trapecios. En la figura 53 se aprecia que para periodos de retorno bajos los beneficios son similares, mientras que para periodos de retorno la producción esperada con sistemas de drenaje de mayores periodos de retorno es mayor que la producción con un sistema de drenaje de Tr = 1 año.

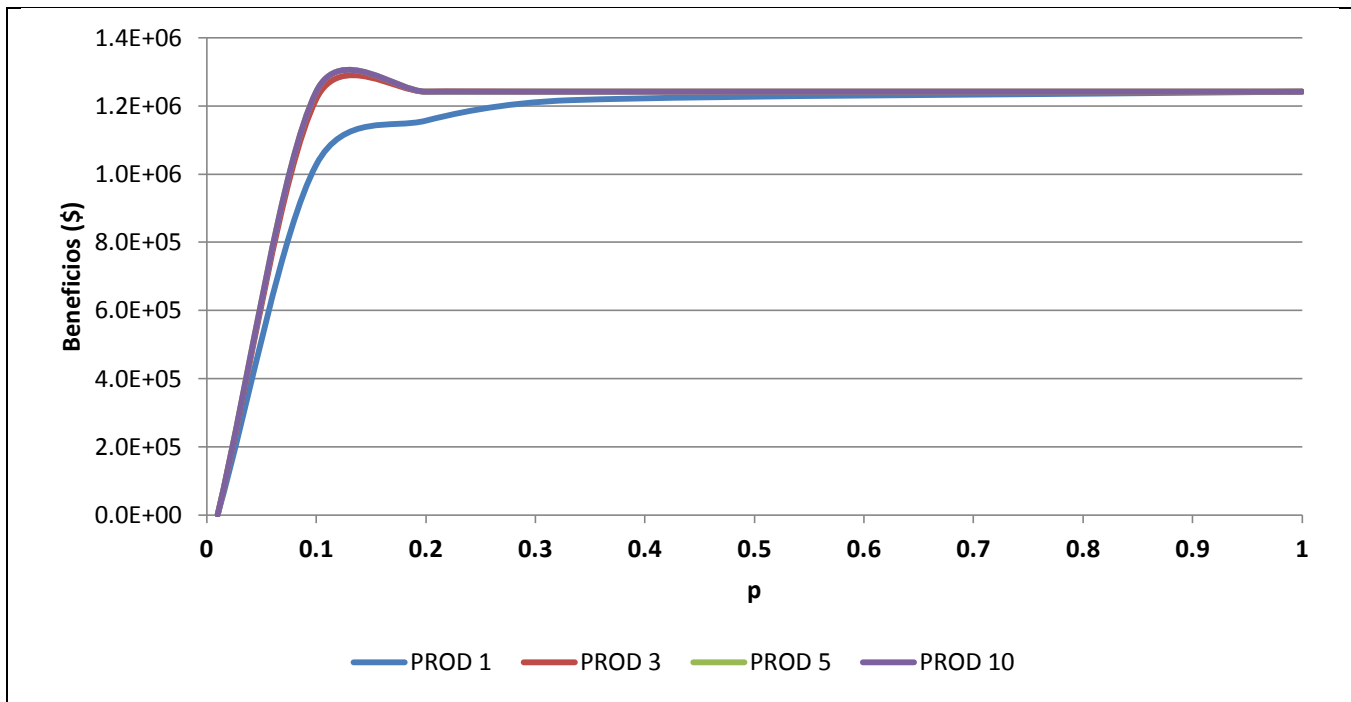


Figura 52 - Gráfica De Beneficios Vs Probabilidad

Tabla 75 - Áreas Bajo Las Curvas.

Tr [años]	p	PRODUCCIÓN Tr = 1	PRODUCCIÓN Tr = 3	PRODUCCIÓN Tr = 5	PRODUCCIÓN Tr = 10
1	1	819,689	828,000	828,000	828,000
3	0.3	158,254	165,600	165,600	165,600

Tr [años]	p	PRODUCCIÓN Tr = 1	PRODUCCIÓN Tr = 3	PRODUCCIÓN Tr = 5	PRODUCCIÓN Tr = 10
5	0.2	109,217	123,128	124,200	124,200
10	0.1	46,287	54,970	55,935	55,895
ESPERANZA DE BENEFICIO [%] :		1,133,448	1,171,698	1,173,735	1,173,695
Beneficio esperado vs posible [\$]:		0.9126	0.9434	0.9450	0.9450

Los costos de cada alternativa están dados por la siguiente ecuación:

$$C_j = 1.35(10^6) - 1.2(10^6)(p) + 0.8(10^6)(p^2) \quad \text{Ec. (101)}$$

Así los costos son:

Tabla 76 - Costos Para Cada Alternativa De Drenaje.

p	1	0.3	0.2	0.1	0.01
Cj (\$)	950,000	1,038,889	1,142,000	1,238,000	1,338,080

Al graficar la esperanza de los beneficios y los costos de cada alternativa para cada probabilidad de diseño se observa de mejor forma el comportamiento de estas variables de las se observa que la mayor diferencia entre los beneficios y los costos ocurre en Tr = 1 año, sin embargo las diferencias entre el periodo de retorno de 1 y 3 años es mínima, por lo que la elección puede ser cualquiera de las dos, pero la de Tr resulta poco más económica, por lo que el diseño para Tr = 1 es adecuado y económico para la zona y se puede adoptar para el proyecto.

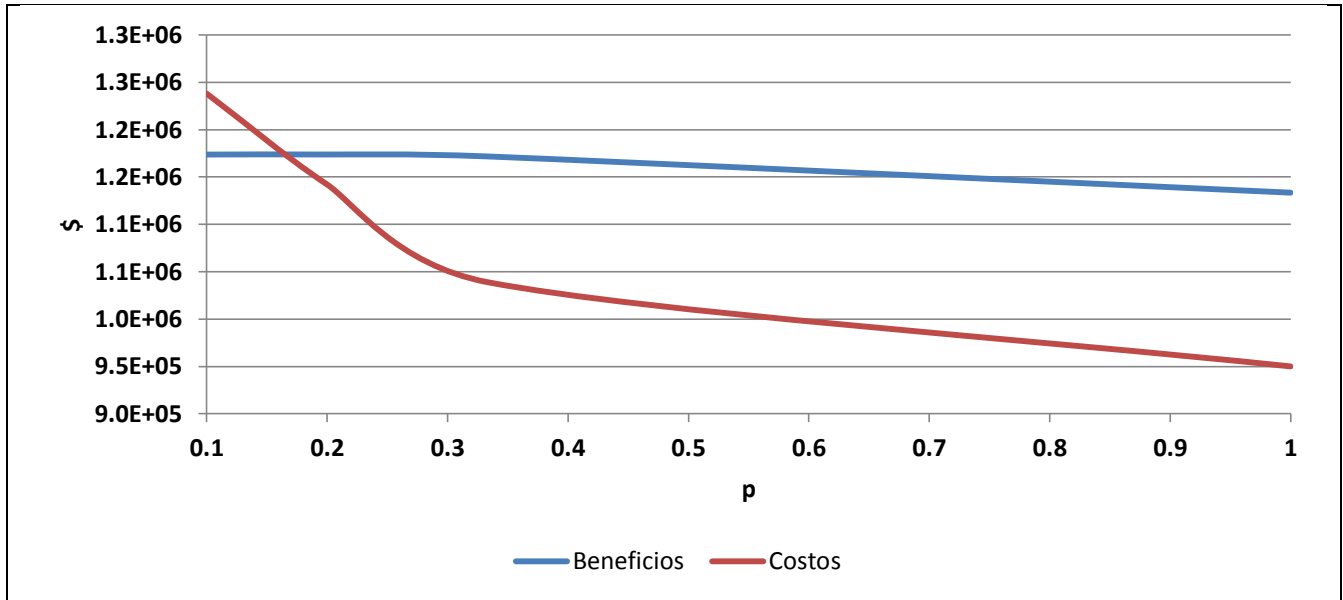


Figura 53 - Beneficios Y Costos Vs Periodo De Diseño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gracia Sánchez J; INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ZONAS DE RIEGO Y DRENAJE; Instituto de Ingeniería - UNAM; Serie Blanca CI-26; Noviembre 2002.
2. Cisneros Almazán R.; APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Facultad de Ingeniería; 2005.
3. Lesur, Luis; MANUAL DEL RIEGO AGRÍCOLA: UNA GUÍA PASO A PASO; Trillas, México; 2006.

10. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Cualquier proyecto a realizar depende de dos factores fundamentales: el análisis técnico y el económico. Una vez identificados los aspectos técnicos del proyecto como posibles fuentes de abastecimiento, la problemática del uso del suelo y se han hecho los balances hídricos, es posible que existan varias soluciones factibles desde el punto de vista técnico. Para seleccionar la mejor de esas opciones, será necesario efectuar un análisis económico de cada una de ella.

10.1. BENEFICIOS

Los beneficios al analizar un anteproyecto (alternativa) pueden ser de muy diversa índole (sociales, económicos, políticos, etc); sin embargo, este trabajo, sólo se analizarán los que pueden cuantificarse económicamente. La integración de los beneficios económicos se hace determinando la posible producción de la zona agrícola para cada año y multiplicándola por el costo de cada producto obtenido:

$$B = \sum_{i=1}^n A_i P_i R_i \quad \text{Ec. (102)}$$

Donde B es el benéfico de los cultivos, en (\$); i indica cierto cultivo y n el número total del cultivos; A es el área sembrada con el cultivo i , en ha; R es el rendimiento del cultivo i , en ton/ha y P el precio del cultivo i , en \$/ton.

10.2. COSTOS

Determinadas las diferentes alternativas técnicas de la zona de riego, se procederá a determinar los costos de cada una de ellas. Dichos costos, deberán integrarse tomando en cuenta todas las actividades, obras y estructuras necesarias en la zona.

Los costos de un distrito, pueden dividirse en dos tipos: a) los costos iniciales fijos y b) los costos de mantenimiento. En el primer grupo pueden considerarse los costos de caminos, campamentos, indemnizaciones, tala, desmonte, nivelación, red de distribución (canales, obras de excedencias, obras de control, etc), red de drenaje, sistemas de almacenamiento, bombeo, etc. El segundo grupo estará conformado principalmente por el mantenimiento de todas las obras y estructuras, operación y administración de la zona (sueldos, transporte, prestaciones, etc.) y labores agrícolas como fertilización, siembra, cosecha, aplicación de pesticidas, etc.

Los costos del inciso a) son grandes cantidades de dinero que deben ser invertidas de manera repentina, en tanto que las del inciso b) son erogaciones más pequeñas pero de cada año.

10.3. ÍNDICES ECONÓMICOS

Para hacer el análisis económico es necesario tener parámetros que puedan ser comparados fácilmente, para el caso de los costos a fin de poder compararlos con los beneficios, es necesario manejarlos como costos anuales actualizados con la siguiente ecuación:

$$C = C_t FA + C_a$$

Con $FA = \frac{i}{1-(1+i)^{-n}}$ Ec. (103)

Donde C es el costo anual actualizado de la obra (\$); C_t consto total inicial de la obra (\$), es la suma de todos los costos calculados; FA es el factor de actualización que depende del número de años (n) en que se pagará la obra y del interés “ i ” en porcentaje y C_a cargos anuales (\$) por concepto de los costos anuales de mantenimiento.

Para efectuar el análisis económico existen dos índices fundamentales: a) la relación beneficio – costo y b) el margen de beneficios sobre costos.

RELACIÓN BENÉFICO – COSTO: Esta relación (o índice) corresponde al cociente del beneficio (B) entre el costo (C) anual actualizado.

$$I\left(\frac{B}{C}\right) = \frac{B}{C} \quad \text{Ec. (104)}$$

Donde $I(B/C)$ es el índice Benéfico – Costo. Si los beneficios del proyecto exceden los costos de la obra, el proyecto es económicamente justificable; esto significa que el $I(B/C) > 1$, y mientras más se aleje dicho índice de uno, mayor será se conveniencia. Obviamente si $I(B/C) < 1$ el proyecto no es “negocio”.

MARGEN DE BENEFICIOS SOBRE LOS COSTOS: Este margen es la diferencia algebraica entre el beneficio (B) y el costo (C) anual actualizado, o sea:

$$I(B - C) = B - C \quad \text{Ec. (105)}$$

Donde $I(B-C)$ es el índice del margen de beneficios sobre costos. Para que un proyecto sea factible se necesitará que $I(B-C)$ sea > 0 .

Otros índices de importancia son la *tasa interna de retorno (TIR)* que sirve para comparar la tasa real del proyecto con la tasa de actualización (interés) con la que se calcularan los costos anuales.

Como se puede inferir la mejor alternativa es aquella que tenga los índices económicos más altos. En muchas ocasiones tales índices no son muy diferentes, por lo que se recurre a estudiar otros aspectos como el de la flexibilidad de operación, beneficios sociales, o algún otro aspecto que no esté tomando en cuenta en los índices anteriores. Sin embargo, hay otro aspecto que debe tomarse en consideración durante el análisis económico y es el que comúnmente se ha denominado como “Análisis de tamaño”, que consiste en determinar el tamaño óptimo de la zona de riego.

10.4. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

BENEFICIOS

Para ciclo Primavera - Verano

Tabla 77 - Beneficios, Ciclo Primavera - Verano.

Cultivo	Eficiencia riego [%]	Rendimiento [t/ha]	Área [ha]	Precio [\$USD/t]	Producción [t]	Beneficio [\$ USD]
Maíz amarillo	70	12	25	244	300	73,200
Trigo panificable	85	7	30	230	210	48,300

Cebada maltera	85	8	30	280	240	67,200
Tomate saladette	90	40	12	670	480	321,600

TOTAL esperado \$510,300 USD

Para ciclo Otoño - Invierno

Tabla 78 - Beneficios, Ciclo Otoño - Invierno.

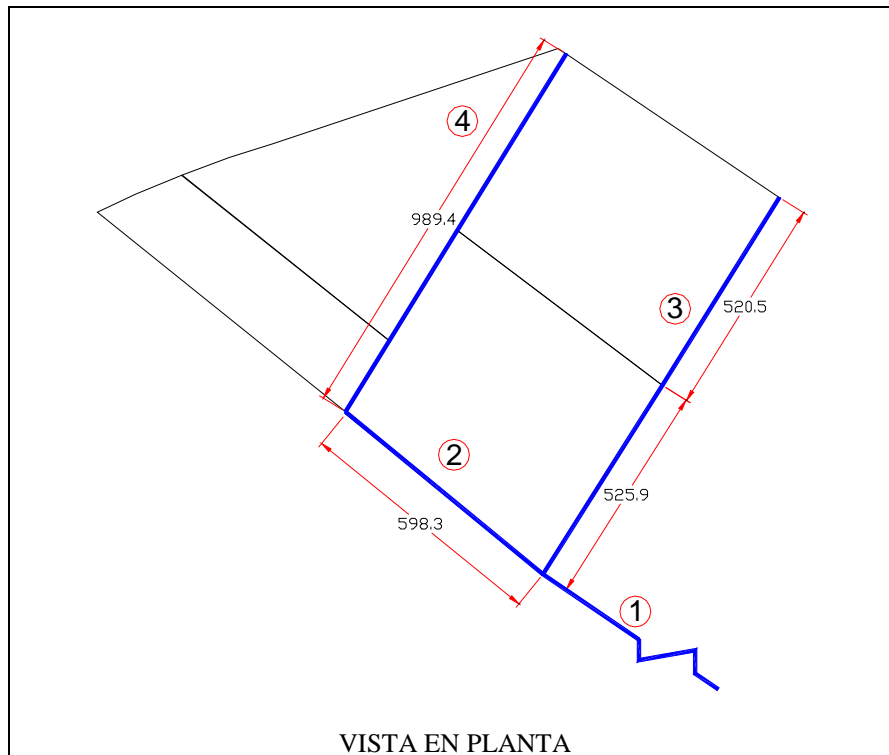
Cultivo	Eficiencia riego [%]	Rendimiento [t/ha]	Área [ha]	Precio [USD\$/t]	Producción [t]	Beneficio [USD\$]
Pasto Forrajero (MARALFALFA)	85	100	30	220	3,000	660,000
Tomate saladette	90	40	12	670	480	321,600

TOTAL esperado \$ 981,600 USD

BENEFICIO TOTAL ANUAL: \$ 1, 491,900 USD

COSTOS

Para hacer la evaluación de los costos en la zona de riego definida primeramente se deben diseñar los canales de riego, la sección del canal es trapecial, donde B es el ancho de plantilla, NT el nivel del terreno, yt es la altura total, BL el bordo libre y y el tirante, los canales de riego se esquematizan en la figura 55.



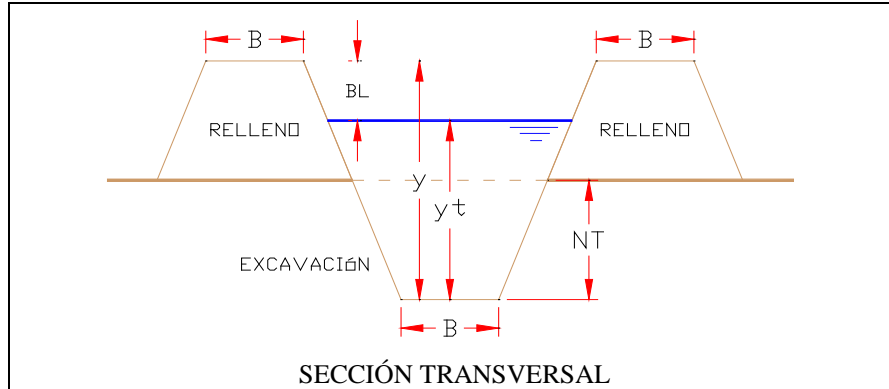


Figura 54 - Esquema Canales De Riego.

Para obtener los gastos de diseño de cada canal se hace uso de los coeficientes unitarios de riego y sus áreas correspondientes, en la tabla 79 se muestran dichos valores además de los gastos totales de cada tramo de canal.

En la tabla 80 se presenta el dimensionamiento final de cada canal, así como los datos de diseño, n es la rugosidad de Manning, S la pendiente del canal, K la relación de ancho – altura de talud, y el tirante en el canal, V la velocidad, ECU es la ecuación de Manning usada para encontrar el tirante asociado al gasto de diseño (Q) y BL es el bordo libre para cada sección.

Tabla 79 - Gastos Por Cada Tramo De Canal.

No.	Cu [l/s/ha]	A [ha]	Q [m ³ /s]
1	1.48	97	0.144
2	0.76	37	0.028
3	0.72	60	0.043
4	0.52	25	0.013

Tabla 80 - Diseño De Sección De Canal De Riego.

Sección	n	S	K	Q [m ³ /s]	B [m]	ECU [m ³ /s]	V [m/s]	BL [m]
1	0.05	0.0067	1.5	0.144	0.3	0.1435	0.522	0.15
2	0.03	0.0038	1.5	0.043	0.3	0.0431	0.455	0.15
3	0.03	0.0067	1.5	0.028	0.3	0.0282	0.497	0.15
4	0.03	0.0038	1.5	0.013	0.3	0.0135	0.330	0.15

Las velocidades están dentro de lo satisfactorio, ya que no representan riesgo de erosión al encontrarse entre (0.5 y 0.7 m/s). Una vez definida la geometría se procede a calcular los volúmenes de excavación (VE) y los volúmenes de relleno (VR), se considera que los niveles del terreno (NT) medidos desde el fondo del canal son de 1 metro y una reducción en la excavación de RE = 0.8 para tomar en cuenta el abundamiento del material excavado se corrige el volumen de excavación (VERE), se calcula el costo de los canales considerando que el costo por excavación es de 28 \$/m³ y el de relleno de 35 \$/m³. Los volúmenes totales de excavación (VT_{exc}) y relleno (VT_{rell}) se obtienen al multiplicar el volumen estimado por la longitud (L), los resultados se muestran a continuación.

Tabla 81 - Costos De Excavación Y Relleno.

VE [m ³]	VR [m ³]	VERE [m ³]	L [m]	VT _{exc} [m ³]	VT _{rell} [m ³]	CT _{exc} [\$]	CT _{rell} [\$]
1.8	0.5	0.4	2,000.0	3,600.0	950.6	100,800.0	33,269.5
1.8	1.0	0.8	1,046.4	1,883.5	1,022.9	52,738.6	35,800.0
1.8	1.2	0.9	598.3	1,076.9	697.6	30,154.3	24,417.2
1.8	1.3	1.0	1,046.4	1,883.5	1,324.8	52,738.6	46,366.4

El costo total de excavación y relleno totales son de **\$ 376,285 MX**. El costo estimado de las estructuras de los canales como compuertas o sifones es de **\$ 200,000 MX**. Otro costo a considerar es el de bombeo, el cálculo se resume en la tabla 82, en ella *DES* indica el desnivel, *Pot* es la potencia de la bomba calculada y comercial *C_B* es el costo de bombeo y *CT_B* es el costo total de bombeo.

Tabla 82 - Costos Bomba.

DES [m]	Pot [hp]	Pot [hp]	C _B [\$/hp]	CT _B [\$]
15	36.6	40	3,000	120,000

El costo estimado del sistema de riego de baja se resume en la tabla siguiente:

CONCEPTO	PU	UNIDAD	MAGNITUD	COSTO
Línea Principal	6	\$/m	2,861	\$ 17,166.0
- Piezas	8	\$/pieza	760	\$ 6,080.0
Líneas Laterales	2.5	\$/m	76,000	\$ 190,000.0
- Piezas	5.5	\$/pieza	38,000	\$ 209,000.0
INSTALACIÓN	4,250	\$/ha	60	\$ 255,000.0
TOTAL				\$ 677,246.0

El acondicionamiento de las parcelas tiene un costo de 1,600 \$/ha, considerando que se acondicionaran 97 ha, el costo total por acondicionamiento es de **\$ 155,200 MX**.

Para el invernadero se considera que el costo de construcción y equipamiento es de 65 \$/m², entonces para las 12 ha de invernadero se tiene un costo total de **\$ 7, 800,000 MX**, más el costo de invertir en 3 cisternas para el sistema de captación del capítulo 7.2 el costo haciende a **\$ 415,260 MX**. Entonces el costo total inicial de la zona de proyecto es de **\$ 9, 743,991 MX o \$721,777 USD**.

El siguiente paso es el cálculo del costo anual (CA) con la ecuación 103, para ello primeramente se obtienen el factor de anual (FA), los datos de financiamiento son proporcionados por el banco, para este proyecto se considera un tiempo de pago T = 10 años y una tasa de interés del 15% (i).

Tabla 83 - Costo Anual.

T [años]	i	FA	CA [\$ MX]
10	0.15	0.199	1,941,510

El costo de operación por bombeo se estima bajo la tarifa eléctrica de CFE para el sector agrícola (Tarifa 9), para diciembre del 2014, siendo esta de 5.647 \$/kW/h. en la tabla *Pota* es la potencia de operación en kW, *d* la lámina de bombeo, *AT* es el área de riego, η es la eficiencia. *VBR* el volumen bombeado para riego, *TR* el tiempo de riego, *CBE* el costo de la energía eléctrica por bombeo de riego y *CAB* es el costo anual de bombeo, obtenido a partir de *CBE* por el número de riegos.

Tabla 84 - Costo Anual De Electricidad Por Bombeo.

Pota [kW]	d [m]	AT [m ²]	η	VBR [m ³]	TR [hr]	CBE [\$ MX]	CAB [\$ MX]
23.5	0.117	850,000	0.75	132,600	256.57	33,973	271,783.8

El mantenimiento anual de las parcelas se estima en 5,000 \$/ha, por lo que el costo total de mantenimiento será de **\$ 271,784 MX**.

Entonces al sumar todos los costos anuales se obtiene el **COSTO TOTAL ANUAL** del proyecto asciende a: **\$ 2, 698,294 MX**, expresando en dólares son **\$ 199,874 USD**.

Por lo tanto al usar las ecuaciones 104 y 105 los índices económicos serán:

$$BC = \frac{1,491,900}{199,874} = 7.46$$

$$B - C = 1,491,900 - 199,874 = \$ 1,302,022 USD$$

De manera general **el proyecto agrícola es factible**, Técnica y Económicamente; aunque faltaría incluir otros costos como el de sueldos de la mano de obra, renta de maquinaria, costo de la semilla, compra de plaguicidas u otras medicinas para los cultivos, transporte de productos, pago del agua y del terreno entre otros que suponen un monto importante, pero que no ponen en riesgo la factibilidad del proyecto y que por los objetivos de este trabajo no se detalla su estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gracia Sánchez J; INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ZONAS DE RIEGO Y DRENAJE; Instituto de Ingeniería - UNAM; Serie Blanca CI-26; Noviembre 2002.
2. Cisneros Almazán R.; APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Facultad de Ingeniería; 2005.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

3. ASOCIACIÓN MEXICANA DE CONSTRUCCIÓN DE INVERNADEROS (AMCI)
4. <http://www.maralfalfa.mx/>
5. http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp

11.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

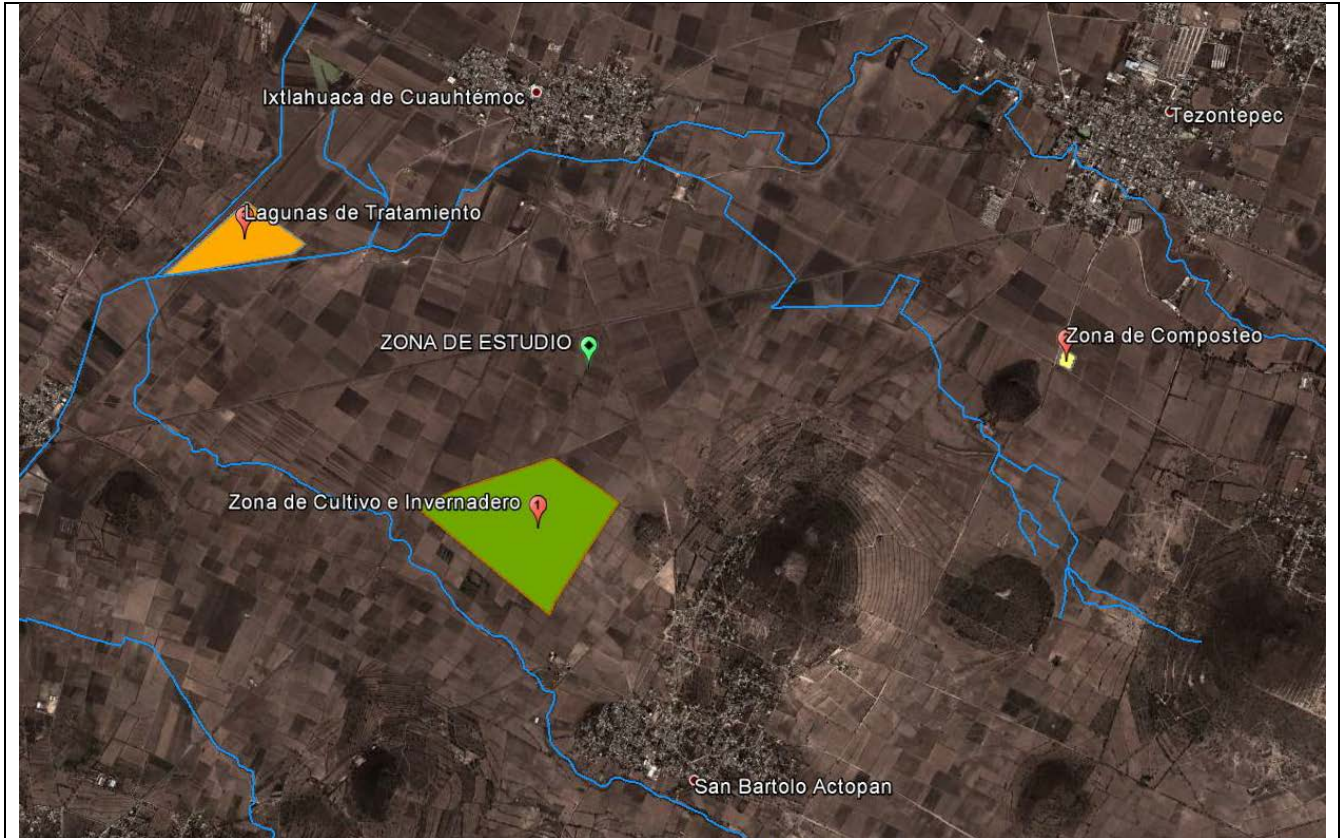


Figura 55 - Esquema General De La Propuesta Del Anteproyecto Agrícola [Google Earth].

El potencial de mejora del campo de subsidencia en México es enorme y si a esto le sumamos una visión integradora, donde no solo se resuelva un problema puntual sino que se trate de involucrar más sectores y se busque una solución que interactúe con todos, resultaría en mejores prácticas, sustentables a mediano y largo plazo, trayendo beneficios a todos los sectores sociales y en especial a los recursos hídricos. El cuidado de los recursos naturales, en especial el hídrico (agua y suelo) resultan esenciales para el progreso y futuro de una región, ya son los elementos primarios para generar la riqueza y preservar la vida, si se dejan perder y no se cuidan estos recursos se ponen en grave riesgo la estabilidad económica, social y ambiental.

Mediante la propuesta de este anteproyecto se pretende establecer la idea de que se puede mejorar de muchas formas, mostrando un esquema de desarrollo técnico, puntualizando los beneficios de un correcto uso del agua y sobre todo un esquema de planeación integral de los proyectos y además de las prácticas que conviene desarrollar para llevar a buen puerto el desarrollo de las zonas agrícolas.

En este trabajo se identifican 4 rubros de mejoramiento a las prácticas comunes de diseño y manejo de los suelos agrícolas:

Visión integral de la problemática.

En vez de resolver puntualmente el problema acotando solo al mejoramiento del riego, se aborda desde un punto de vista regional, donde se busca el mayor beneficio para el mayor número de usuarios posibles del agua, esto se logra mediante esquemas de reusó de recursos,

mejoramiento de las condiciones del suelo y cosecha, eficiencia del riego, diversificación de los cultivos y mejoramiento de los cultivos.

Estudio hidrológico.

Con el cambio de técnicas clásicas de la hidrología tales como el uso de una precipitación media de cuenca o el cálculo de la evapotranspiración con el método de Blaney – Criddle.

Con el uso de mejores técnicas se mejora la calidad de información procesada para los cálculos y se tienen mayor certeza de los resultados al aplicar otras técnicas de reciente uso, tales como la regionalización, interpolación de información climatológica, simulación de cultivos, caracterización de déficit de precipitación, olas de calor y heladas.

Se tiene mayor oportunidad de planear adecuadamente la inversión, cantidades de agua a usar, fechas de siembra, levantara de cosechas, cultivo en el cual invertir, mejorando la toma de decisiones y evitando sobreestimación de diseños o pérdidas por un mal manejo del estudio.

Proyecto de riego y drenaje.

Se estudia la viabilidad técnica de implementar diferentes tipos de riego, bajos las condiciones de oportunidad de la región, las características topográficas de la zona y la complejidad de operación del sistema, con el objetivo de hacer eficiente la aplicación del riego para tener mejores cosechas y sobre todo menor consumo de agua. Se diseña la zona de cultivo pensando en que el costo de bombeo sea menor para llegar a las zonas extremas del predio y se aproveche la pendiente natural, así como que esta zona pueda drenar fácilmente reduciendo costos también para el drenaje de la zona.

Evaluación económica.

Para medir la viabilidad del proyecto se hace un estudio económico donde se analizó el comportamiento esperado del mercado, para obtener el precio de venta cuando se levante la cosecha o para tomar la decisión de cambiar de cultivo si es que este no va a dar los beneficios mínimos, además se evalúan los principales conceptos a tomar en cuenta en el proyecto esquematizando el desglose de los beneficios y los costos.

De manera regional se beneficiaría a una población de 13,346 habitantes repartida en 3 comunidades, esto porque se tratarían los residuos sólidos orgánicos (4.3 t/día) y las aguas residuales (1,501.43 m³/día), para darles un segundo uso y un valor económico agregado para la producción de alimentos y mejoramientos de las condiciones del suelo, por otro lado estas propuestas tendrían bondades de impacto directo en la sociedad, tales como:

- Los desperdicios que se destinan a los rellenos sanitarios serían menores, dando un menor costo de mantenimiento en el relleno sanitario, alargando su vida útil y bajando los costos de operación del sistema de recolecta, se disminuye la fauna nociva y se mejora la calidad de vida, además se le da un valor agregado a los desperdicios para la conservación y mejora de los suelos cultivables.
- La contaminación causada por el desecho de aguas residuales se aminoraría, así como las enfermedades que estas causan y la imagen ambiental sería mejor, el resultado de estas acciones conllevaría a menores gastos en el sistema de salud para atender enfermedades hídricas y compra de

medicamentos, menor riesgo de contaminación de los acuíferos y del agua utilizable, se le da una valor agregado a una recurso que ya se pagó por su distribución y extracción, al mejorar la imagen ambiental puede atraerse turismo a la región y se mejora la calidad y bienestar de la población.

De manera puntual mediante la implementación del módulo agrícola se mejorarían las condiciones de producción y cultivo de los alimentos, además con la puesta en marcha de acciones sustentables se aseguraría que la rentabilidad de las tierras sea constante. Los principales beneficios serían:

- Se mejoraría la calidad física y química de los suelos con el uso de los abonos orgánicos, estimando una producción de 2.6 t/día, mediante su uso se aseguraría una mejor producción de alimentos, se dejaría de contaminar y degradar el suelo por el uso de fertilizantes químicos, de igual forma ya no se contaminarían a los escurrimientos e infiltraciones de lluvia por el uso de fertilizantes químicos y se abaratarían los costos destinados a la compra de dichos productos. Redituando en ingresos más estables y menor riesgo de pérdida de rendimiento en los cultivos.
- Con prácticas de manejo de la labranza de la tierra y protección de las parcelas se aminorarían los daños causados por la erosión eólica e hídrica, el suelo se haría sustentable a largo plazo y contribuyendo a la economía del agricultor y a la alimentación de la región.
- De la revisión hidrológica se tiene que la región probablemente presente un aumento en la temperatura mínima del orden de un 1°C, ocasionando mayor evapotranspiración, más riesgo de plagas y por ende un mayor control en el control de éstas, además de mayores volúmenes de agua para riego. La precipitación promedio anual es de 646 mm, existiendo un periodo de déficit hídrico en promedio cada 4 años con una duración de 2 años (50% de las veces) con una precipitación media anual de 74.84 mm y una lámina de lluvia disponible en déficit de 521 mm, por ello es de vital importancia desarrollar sistemas de riego y fuentes de abastecimiento alternas que aminoren los efectos de estos fenómenos, disminuyendo notablemente la pérdida de cultivos.
- En 48 años de registro se han presentado 116 eventos de ondas de calor siendo los años más desfavorables 1998 y 1965 con 7 y 6 eventos respectivamente, la probabilidad de tener al menos una ola de calor al año es del 79% (alta), presentándose mayormente en abril (42.24%) y en mayo (31.90%) , siendo el 20 de abril y el 12 de mayo los días más probables en que se manifieste el evento, 12.24% y 10.81% respectivamente; los eventos se presentarían con una temperatura máxima promedio de 30.89°C para una duración de dos días, 31.05°C para tres días y 30.94°C para cuatro días. Estos datos fijan políticas de selección de cultivos, siembra y riego, mejorando la respuesta de los agricultores ante estos eventos extremos y aminorando las pérdidas que puedan llegar a causar.
- Para el caso de las heladas se identificó que son frecuentes, teniendo para el periodo de retorno de 10 años: en heladas tempranas, una duración de 9 días, con temperatura mínima promedio de -3.75°C; para las heladas tardías, se tiene una duración de 32 días y una temperatura mínima de -3.49, siendo los días en que probablemente se aparezca el 69 (24/Oct) y el 56 (25/Feb) respectivamente, al comparar las temperaturas máximas y mínimas se puede ver que las oscilaciones entre las dos en las temporadas es muy extremosa , por ello es importante la utilización de semillas mejoradas, la preservación del ciclo hidrológico y una correcta planificación de las siembras y riegos, además influye en el diseño de los sistemas de tratamiento de agua residual.
- El uso de agua residual para aminorar la extracción de los acuíferos resultaría en un menor pago de energía por bombeo, menos presión en los recursos hídricos y mayor disponibilidad de agua para otros usuarios o usos.

- La demanda de agua identificada para el Maíz amarillo serían del orden de 547 mm, para el Trigo panificable 383 mm, para la Cebada maltera 643 mm y para el Tomate saladette 643 mm, bajo condiciones estándar, en condiciones desfavorables se tendrían demandas un poco mayores, 623 mm, 436 mm y 430 mm, respectivamente, en esta condición no se simula el tomate saladette por encontrarse en invernadero.
- Mediante la simulación de cultivos se obtuvo que bajo las condiciones estándar se tendrían que hacer en promedio 3 riegos para el Maíz amarillo, 2 para el Trigo panificable y la Cebada maltera y 7 para el Tomate, con una producción final de 11.40 t/ha, 6.77 t/ha, 7.77 t/ha y 36.50 t/ha respectivamente, contra unos rendimientos promedio en la región de 3.5 t/ha (Maíz amarillo), 3.5 t/ha (Trigo panificable), 5 t/ha (Cebada maltera) y 27.5 t/ha (Tomate saladette), también en la condición desfavorable se observó una disminución de la producción del orden del 10% para el maíz y del 7% para el trigo panificable y la cebada maltera, con un aumento en la demanda de agua del orden del 40%, por ello se vuelve a recalcar la importancia del uso eficiente del agua en el riego.
- La utilización de una unidad de invernadero dentro del módulo agrícola se debe a la necesidad de diversificar la producción para satisfacer la demanda y generar ingresos, mediante un uso racional de los recursos naturales, esto ayudaría a que la producción sea buena en ambas temporadas de cultivo, se mantenga activa la mano de trabajo, se generen más fuentes de trabajo y se tengan ingresos más seguros.
- Del mejoramiento en riego, se estimado entre el 55% (del 30% al 85% para la Cebada y el Trigo) y el 35% (del 30% al 65%, para el Maíz), traería consigo un ahorro en promedio de 0.45 m³ por cada m³ usado en un riego tradicional, esto es que en vez de hacer un uso real de 0.3 m³ por cada m³ se logra usar un mínimo de 0.65 m³ por cada m³, liberando una enorme cantidad de agua, además mediante la tecnificación se mejora la producción de los cultivos, entonces se tendría un menor pago por concepto de agua suministrada y una mejora en los ingresos por el incremento o mantenimiento en la producción.
- Respecto al drenaje el riesgo de pérdida es bajo debido a las condiciones que presenta la región y la optimización del diseño, se comprueba que con un diseño para un Tr = 1 años da seguridad para que las parcelas no se vean afectadas ante eventos extremos.
- En cuanto a la evaluación económica la recuperación de la inversión puede ser en menos de 10 años, la planta de compostaje y la de tratamiento de aguas residuales no irían a cargo del agricultor, serían parte del programa de inversión del municipio para mejorar sus índices de calidad y cumplimiento de las leyes existentes, de la inversión necesaria por el agricultor se buscaría que programas gubernamentales (municipal, estatal o federal) existen para apoyar en estas actividades y aminoren los costos.

El ahorro de agua que conllevaría la correcta planeación e implementación de las metodologías propuestas sería perceptible, si a esto le sumáramos más hectáreas bajo este esquema, el ahorro hídrico tendría un fuerte impacto, resultando en una menor presión sobre los recursos hídricos, liberando su uso para atender otras necesidades o para almacenarla y usarla en tiempos de escases. Además se incentiva una visión de sustentabilidad donde se mejoran las condiciones de labranza, cultivo, estructura de la parcela y las características del suelo para preservar su funcionamiento y mantener el ciclo hidrológico, con ello se mejora la calidad ambiental y la calidad de vida de la población tanto directa como indirectamente involucrada.