



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES, CUAUTITLÁN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MACROTÚNEL PARA EL CULTIVO DE  
ZARZAMORA (*Rubus fruticosus* L.) EN LA FES - CUAUTITLÁN**

TESIS

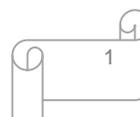
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRICOLA

PRESENTA:

HENRY ZUÑIGA MORALES

ASESOR: ING. AGR. ESP. MINERVA E. TÉLLEZ ORDAZ.

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2012





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **“AGRADECIMIENTOS”**

*Agradezco profundamente por el apoyo, la ayuda y el esfuerzo de mis padres que hicieron día con día por sacarme adelante.*

*Agradezco al Ing. Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra y la Ing. Minerva Téllez Ordaz por su tiempo, su paciencia y todo el apoyo brindado durante este tiempo.*

*Agradezco a todos mis amigos y compañeros de la carrera por sus consejos, y su apoyo para culminar este trabajo.*

## Índice

RESUMEN.....	7
1 INTRODUCCIÓN .....	8
2 OBJETIVO.....	10
3 MARCO DE REFERENCIA .....	11
3.1INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO DE LA ZARZAMORA	
<i>Rubus fruticosus L.</i> .....	11
3.1.1 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO. ....	12
3.1.2Clima .....	12
3.1.3 Suelos.....	12
Cuadro 1 Requerimientos climáticos y de suelo del cultivo de la	
zarzamora.....	13
3.1.4 Variedades .....	14
3.1.5 Preparación del terreno. ....	15
3.1.6 ¿Cómo se hace la plantación?.....	15
3.1.7 Plantación. ....	16
3.1.8 Colocación del acolchado. ....	17
3.1.9 Sistema de soporte o de conducción. ....	17
3.1.10 Fertilización .....	19
3.1.11 Riego.....	21
3.1.12 Poda.....	22
3.1.13 Control de malezas .....	23
3.1.14 Control de plagas y enfermedades .....	24
3.2 COSECHA .....	28
3.3 BENEFICIOS DEL CONSUMO DE LA ZARZAMORA. ....	29
3.4 Agricultura protegida. ....	30
3.4.1 Tipos de cubiertas. ....	32
3.4.2 La orientación .....	34
3.4.3 Estructura.....	35
3.4.4 Materiales de cubiertas.....	36
3.5 DISEÑO DEL MACROTÚNEL.....	49
3.5.1 Factores geográficos. ....	49
3.5.2 Factores climáticos.....	49

3.5.3 Factores técnicos. ....	56
3.6 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MACROTÚNEL. ....	58
3.6.1 Cargas muertas. ....	58
3.6.2 Cargas vivas. ....	58
3.6.3 Cargas meteorológicas. ....	58
3.6.4 Cargas por sismo. ....	59
3.6.5 Cargas por viento. ....	60
3.6.6 Cargas por granizo. ....	61
3.6.7 Armaduras. ....	61
3.6.8 Características del procedimiento de cálculo de la estructura. ..	62
3.6.9 Esfuerzo. ....	64
3.6.10 Esfuerzos normales axiales. ....	66
3.6.11 Esfuerzo cortante. ....	66
4 ACTIVIDADES DESARROLLADAS. ....	68
5 RESULTADOS. ....	68
5.1 Cálculos de la estructura. ....	68
5.1.1 Peso de la estructura. ....	69
5.1.2 Peso de la cubierta. ....	70
5.1.3 Carga por viento. ....	70
5.1.4 Carga por sismo. ....	75
5.1.5 Carga por granizo. ....	75
5.1.6 Fuerzas que actúan en la estructura. ....	75
5.1.7 Esfuerzo máximo en tornillo. ....	81
5.2 Lugar de implementación. ....	83
5.3 Construcción del macrotúnel. ....	85
5.4 Costos de producción del cultivo de zarzamora para 126 m <sup>2</sup> . ....	91
5.5 Estación y periodo de crecimiento de la zona de estudio para el cultivo de zarzamora. ....	93
5.6 ¿Como colocar el sistema de soporte? ....	96
5.7 Sistema de riego. ....	100
5.8 Fertilización. ....	101
6 DISCUSIÓN. ....	103
7 CONCLUSIONES. ....	104
8 BIBLIOGRAFIA. ....	105

9 ANEXOS .....	107
----------------	-----

### Índice de cuadros.

CUADRO 1 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y DE SUELO DEL CULTIVO DE LA ZARZAMORA. ....	13
CUADRO 2. DISTANCIAS DE PLANTACIÓN DE LAS ZARZAMORAS. ....	16
CUADRO 3 CONSUMO DE NUTRIENTES EN KG/HA DEL CULTIVO DE ZARZAMORA Y OTRAS BERRYES .....	19
CUADRO 4 NIVELES ÓPTIMOS (PPM) DE NUTRIENTES EN LOS TEJIDOS FOLIARES PARA ZARZAMORA Y OTRAS BERRYES .....	20
CUADRO 5 ENFERMEDADES, PLAGAS Y SU CONTROL.....	25
VIDRIO.....	37
CUADRO 6 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS.....	46
CUADRO 7: CARACTERÍSTICAS, VENTAJAS, Y LIMITACIONES DEL VIDRIO Y EL PLÁSTICO. ....	47
CUADRO 8 CALIDAD Y EFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LAS PLANTAS	52
CUADRO 9 COMPORTAMIENTO MEDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA ESTACIÓN UNAM-ALMARAZ PERIODO 1987-2002 .....	53
CUADRO 10 REGIONES EÓLICAS DE MÉXICO.....	61
CUADRO 11 ESTIMACIONES DEL PESO DE LA ARMADURA .....	69
CUADRO 12 FACTORES DE VARIACIÓN CON LA ALTURA F .....	71
CUADRO 13 FACTOR TOPOGRÁFICO Y RUGOSIDAD DEL TERRENO $F_{TR}$ .....	71
CUADRO 14 RUGOSIDAD DEL TERRENO. ....	72
CUADRO 15 COEFICIENTES DE PRESIÓN ( $C_p$ ).....	73
CUADRO 16 COEFICIENTES DE PRESIÓN ( $C_p$ ) PARA PRESIONES INTERIORES	74
CUADRO 17 SUMATORIA DE LAS CARGAS. ....	76
CUADRO 18 PARÁMETROS CLIMÁTICOS SEGÚN TERESA REYNA Y LAS NORMALES CLIMATOLÓGICAS DE LA ESTACIÓN 15081 “REPRESA EL ALEMÁN TEPOTZOTLÁN” EDO. MEX 1981-2010.....	84
CUADRO19 COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE ZARZAMORA PARA $126 \text{ m}^2$ .....	91
5.5 ESTACIÓN Y PERIODO DE CRECIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO PARA EL CULTIVO DE ZARZAMORA.....	93
CUADRO 20. LOS VALORES DEL ESFUERZO DE FLUENCIA, $F_y$ , Y DE RUPTURA EN TENSIÓN, $F_u$ , QUE SE UTILIZARÁN EN EL DISEÑO, DE ESTRUCTURAS METÁLICAS .....	107
CUADRO 21 NORMALES CLIMATOLÓGICAS ESTACIÓN 15081. REPRESA EL ALEMÁN TEPOTZOTLÁN EDO. MÉXICO. ....	108
CUADRO 22 PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE ZARZAMORA CICLO 2010 MODALIDAD RIEGO Y TEMPORAL. ....	109

## Índice de figuras.

FIGURA 1 ACOLCHADO. ....	32
FIGURA 2 TÚNEL BAJO.....	33
FIGURA 3 TÚNEL O MACROTÚNEL.....	33
FIGURA 4 INVERNADERO.....	34
FIGURA 5: ORIENTACIÓN DE LAS CUBIERTAS.....	35
FIGURA 6: VIDRIO IMPRESO.....	38
FIGURA 7 REGIONES SÍSMICAS DE MÉXICO.....	59
FIGURA 8: TIPOS DE ARMADURAS SEGÚN SU FORMA. ....	62
FIGURA 9: TIPOS DE ESFUERZOS.....	65
FIGURA 10: TIPOS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES. ....	65
FIGURA 11: DEFORMACIÓN DEBIDO A LOS ESFUERZOS NORMALES AXIALES. .	66
FIGURA 12 DEFORMACIÓN DEBIDA A LOS ESFUERZOS CORTANTES.....	67
FIGURA 13: DIMENSIONES DEL MACRO TÚNEL VISTA DELANTERA.....	68
FIGURA 14: COMPONENTES DEL MACROTÚNEL. ....	69
FIGURA 15 FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA ESTRUCTURA. ....	76
FIGURA 16 ÁNGULO DE INCLINACIÓN OCASIONADO POR EL VIENTO. ....	78
FIGURA 17 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DONDE ACTÚAN TODAS LAS FUERZAS .....	79
FIGURA 18. ESTACIÓN Y PERIODO DE CRECIMIENTO DE LA ESTACIÓN 15081 “REPRESA EL ALEMÁN TEPOTZOTLÁN” EDO. MEX 1981-2010 CON LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE ZARZAMORA.....	93
FIGURA 19. ACTIVIDADES DEL CULTIVO SEGÚN SU ETAPA FENOLÓGICA.....	94
FIGURA 20. FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE ZARZAMORA CV BRAZOS.	95
FIGURA 22.RUGOSIDAD DEL TERRENO.....	107

## RESUMEN.

La zarzamora (*Rubus fruticosus*) es originaria de Europa, Asia y América; existen datos de que la zarzamora se ha utilizado desde hace más de 2000 años como alimento, medicamento y en la elaboración de cercos vivos por los europeos.

Los frutos de la zarzamora son apreciados por su color atractivo, aroma, sabor y su textura.

En Estados Unidos y Canadá la zarzamora era abundante como planta nativa y los colonizadores la utilizaban como producto de recolección; a pesar de su utilización en diversos platillos y otros fines, a nadie le parecía atractivo practicar su cultivo de manera comercial por las características de la planta (demasiadas espinas).

Fue hasta 1920 que se inició el cultivo comercial de las zarzamoras en Estados Unidos.

En México la frambuesa y zarzamora son frutillas que por su alta rentabilidad representan una opción para productores y agroindustriales, al generar un rápido retorno de la ganancia desde el segundo año.

Es por eso que en el presente trabajo se elaboro una guía técnica donde se muestra como se construyó el macrotúnel de 126 m<sup>2</sup> en la parcela 9 de la FES Cuautitlán, la investigación sobre el tipo de cargas que se ejercen en la estructura, el tipo de estructura a emplearse, el tipo de cubiertas, y una comparación de precios en el tipo de cubiertas mas usadas en el mercado.

También se abordan los temas de los requerimientos del cultivo de zarzamora, las condiciones edafoclimáticas del lugar. Con los datos recabados se diseñó la estructura, el tipo de material a emplearse y la variedad, con el objetivo producir una mejor planta y frutos de calidad.

## 1 INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida es una tendencia que ha modificado las formas de producir alimentos y que genera múltiples ventajas para los productores del campo. Además, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, capaces de controlar las plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en un espacio reducido, sano y con un mejor precio en los mercados. Esto se traduce, evidentemente, en un mejor ingreso para los productores

Las hectáreas protegidas en México evolucionaron desde 1998 a 2008 a una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 34.5%, de acuerdo con información proporcionada en el Segundo Simposio Internacional de Invernaderos (2008). De un total 8,834 ha de agricultura protegida, 49% fueron de invernaderos tecnificados y de mediana tecnificación y el 51% de malla sombra, es decir, la dinámica de la TMCA corresponde en un porcentaje importante (70%) al crecimiento de los invernaderos de mediana y baja tecnología, dentro de estos últimos, destacan los estados de Baja California y Sinaloa, mientras que los de mediana tecnología se ubican en la región del Bajío.

En la actualidad la agricultura protegida ha tenido una gran aceptación en el grupo de pequeñas frutas que incluye a la frambuesa, zarzamora y el arándano azul, que se les conoce como berrys (por su nombre en inglés). Hasta hace pocos años, eran casi desconocidas en muchas de las mesas mexicanas. En México, durante los últimos 10 años se desarrolló el cultivo de las berrys, debido principalmente a la iniciativa de algunos técnicos y empresas nacionales y extranjeras que encontraron condiciones climáticas favorables y desarrollaron tecnologías de producción que permiten cosechar cuando otras regiones del mundo no lo hacen, y alcanzan los más altos precios en el mercado mundial debido a la escasa oferta.

En México la producción de zarzamora se concentra en los estados de Michoacán, Jalisco, Colima y el Estado de México. Siendo el estado de Michoacán con mayor superficie sembrada de 7,776ha y el de menor superficie el Estado de México con solo 33ha La producción de Michoacán, ha logrado volúmenes importantes, reportando para el 2010 una producción de 53,279 toneladas, con lo que nuestro

país es hoy en día el principal exportador mundial de esta fruta. Estos datos se pueden apreciar en el cuadro 22. Producción agrícola de zarzamora ciclo 2010 modalidad riego y temporal, ubicado en la sección de anexos.

Dentro de las principales razones que hacen atractivas a las berrys son:

- a) La posibilidad de producir para mercado en fresco en periodos de buen precio.
- b) La alta rentabilidad.
- c) La rápida recuperación de la inversión.
- d) Una creciente demanda internacional.

Por lo antes mencionado se elaboró un guía técnica para producir zarzamora en un macrotúnel e implementar la construcción del mismo y el establecimiento del cultivo basado en el sistema de producción existente. Otro aspecto importante es que también se presenta como alternativa de producción forzada para las zonas templadas del país. Para ello se abordan los temas del establecimiento de un macrotúnel, donde se toman en cuenta los factores geográficos, climáticos y técnicos, además también se menciona los tipos de cubiertas que hay en el mercado, los tipos de estructuras mas comunes con las que se construye los macrotúneles, los cálculos necesarios para su construcción, donde y como se construye, el procedimiento y los materiales utilizados. Además que también se aborda el cultivo de la zarzamora, haciendo una descripción de la operación del cultivo tomando en cuenta sus necesidades agronómicas, todo ello para implementar el proyecto en campo.

## 2 OBJETIVO

- Implementar un macrotúnel para la producción de zarzamora (*Rubus fruticosus L.*) en la FES-Cuautitlán que brinde los elementos para desarrollar una guía técnica para el cultivo.

### 3 MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO DE LA ZARZAMORA *Rubus fruticosus L.*

El nombre científico de la Zarzamora es *Rubus fruticosus L.* y pertenece a la familia de las Rosáceas. La traducción de zarzamora al inglés es "Blackberry". A continuación se presenta información general con el objeto de caracterizar a la Zarzamora: (18, 19)

##### **Descripción**

Es un arbusto sarmentoso de ramas arqueadas y espinosas por la presencia de aguijones, hojas compuestas de 3 ó 5 folíolos elípticos y de margen aserrado, dispuestos de forma palmeada, en ocasiones blanquecino y con pecíolo espinoso. Flores en racimos compuestos, con 5 sépalos y 5 pétalos blancos o rosados sobre un receptáculo ensanchado, con numerosos estambres. (18,19)

##### **Fruto**

Es una polidrupa de color oscuro ó negro cuando están maduras, de 5-7 milímetros de diámetro, de cinco a ocho frutos en gajos, su peso individual es de 0.2 gramos en promedio, cada fruto tiene numerosas semillas diminutas (alrededor de 65 semillas). Una planta bien desarrollada puede llegar a tener hasta 3,600 frutos. (18,19)

##### **Floración**

El principal periodo de floración se presenta de junio a agosto, frutos en agosto y generalmente se cosechan en verano. (18,19)

### 3.1.1 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.

#### 3.1.2Clima

A la zarzamora le favorece los climas templados, libres de lluvias en el período de cosecha, y con un requerimiento de frío de 800 a 1,200 horas frío. (18,19)

Una alta humedad atmosférica favorece el desarrollo de las plantas, sin embargo, esta especie, a diferencia de la frambuesa, presenta cierto grado de resistencia al déficit o exceso de agua debido a su mayor profundidad y extensión del sistema radical. (18,19)

En la zarzamora, el efecto negativo del viento es menor que en el caso de las frambuesas. Esto se debe a que la mora híbrida es más resistente y tiene un manejo cultural distinto. (18,19)

**Temperatura** .La mínima para esta especie es de 5°C, la máxima de 22°C y la optima es de 17°C

**Pluviosidad** - 800 - 1,300 mm anuales el déficit se debe cubrir con riego adicional.

**Altitud** - 100 - 2,500 MSN., la zarzamora es sensible a las heladas que ocasionan la quemazón de los tallos o anulan la producción de frutos si se presentan en periodos de floración o al inicio de la fructificación. (18,19)

#### 3.1.3 Suelos.

La zarzamora se adapta a diversos tipos de suelos, siempre que éstos sean permeables no muy alcalinos ni muy arcillosos, pero ricos en materia orgánica. Solamente variedades rastreras soportan suelos pesados. (18,19)

Los suelos deben tener buen drenaje y buena humedad, se aconsejan los suelos de textura franca: franco- arenosos y franco -arcillosos, el suelo debe tener un 5% o más de materia orgánica, en zonas de alta pluviosidad se prefieren suelos con un 5 - 25 % de pendiente, en zonas de menor pluviosidad, se cultiva en suelos planos o de pendiente ligera. (0 - 5%), la profundidad efectiva debe ser 1 m o más. La acidez ideal es 5.7, este pH puede variar entre 5.5 y 6.5. (18,19)

A continuación se muestra el cuadro 1 requerimientos climáticos y de suelo del cultivo de la zarzamora.

**Cuadro 1 Requerimientos climáticos y de suelo del cultivo de la zarzamora.**

<b>Requerimientos</b>	<b>Descripción.</b>
<b>Clima</b>	Regiones templadas y subtropicales con invierno definido. Climas semiáridos y templados.
<b>Ciclo vegetativo de producción</b>	120-150 días.
<b>Fotoperiodo</b>	Planta de día neutro.
<b>Altitud</b>	100 - 2,500 m.s.n.m.,
<b>Precipitación</b>	Se produce mayoritariamente bajo condiciones de riego, pero bajo temporal se requieren 300mm como mínimo durante el ciclo de producción. El máximo de precipitación durante este periodo de producción es de 1500mm y el optimo de 900mm
<b>Temperatura</b>	La mínima para esta especie es de 5°C, la máxima de 22°C y la optima es de 17°C
<b>Luz</b>	Es exigente de insolación durante la maduración del fruto.
<b>Textura de suelo</b>	Suelos de textura ligera, como suelos francos y franco arenosos.
<b>Salinidad</b>	Ligera tolerancia a la salinidad. Tolera cantidades limitadas de caliza.
<b>pH</b>	Desarrolla en un rango de 5.3 a 7.8, siendo el optimo 6.6
<b>Drenaje</b>	Requiere de buen drenaje, no tolera encharcamientos.

Elaborado: Zúñiga Morales Henry

### 3.1.4 Variedades

Las zarzamoras se han clasificado según su hábito de crecimiento (erecto, semierecto o rastrero) y la presencia o ausencia de espinas (característica que puede ser otorgada por la hibridación.)

Las variedades que se cultivan en las regiones productoras de zarzamora en México son las que a continuación se describen; las tres son plantas arbustivas semileñosas cuyo crecimiento es de forma erecta (existen variedades con hábito de crecimiento en forma rastrero). (18,19)

**Shawnee.** Planta de hábito de crecimiento erecto, liberada en Arkansas en 1985. Es un cultivar de floración tardía, de vigor bajo. Se señala como un cultivar productivo, de fruto grande (7.2g) y de excelente sabor para el consumo en fresco; sin embargo, en los estudios efectuados con este cultivar a nivel nacional se reporta un tamaño promedio de fruto de 4.9g, mucho menor al citado. (18,19)

**Cheyenne.** Tiene el mismo origen que el cultivar Shawnee, con liberación en el año de 1974. El fruto de este cultivar es firme y de un peso de 6.2g a 6.9g aproximadamente; se agrupa entre aquellos de mayor longitud comparado con los cultivares Cherokee y Shawnee. Se caracteriza por ser muy dulce y crujiente. (18,19)

**Cherokee.** Originaria de Arkansas y liberada en 1974. Los frutos son firmes, de un peso medio aproximado de 5.0g y de baja acidez; se considera como uno de los más dulces entre los tres cultivares. (18,19)

Para este trabajo se utilizó la **variedad brazos** la cual presenta las siguientes características:

**Brazos:** es originaria de Texas y liberada en 1959. La planta es erecta, muy vigorosa y produce altos rendimientos durante un largo periodo. La fruta es grande, firme y muestra buena calidad.

Es un arbusto sarmentoso de ramas arqueadas y espinosas, hojas compuestas de 3 ó 5 folíolos elípticos y de borde aserrado, dispuestos de forma palmeada. Florece desde el final de la primavera hasta principio de otoño. Sus flores crecen en racimos compuestos, con 5 sépalos y 5 pétalos blancos o rosados sobre un receptáculo

ensanchado con numerosos estambres, su fruto es una polidrupa, la popular mora o zarzamora que es al principio rojiza y finalmente negra brillante cuando madura.

### **3.1.5 Preparación del terreno.**

El terreno elegido para llevar a cabo la plantación debe tener unas características físicas y biológicas adecuadas para este cultivo. Es decir, con una profundidad libre suficiente 1 metro, permeabilidad que evite encharcamientos, sin problemas patológicos, además de tratar de conseguir una fertilidad óptima en esta fase de implantación. (18,19)

Las actividades que se recomiendan hacer de forma previa al establecimiento de la plantación, con el objetivo de facilitar la expansión de las raíces y de disminuir la competencia con malas hierbas, son:

Tratamiento con herbicida (Glifosato): Se realiza en enero o febrero, empleando un atomizador de ultra bajo volumen. Este tratamiento eliminará la vegetación espontánea. Dejar pasar 15 - 20 días para continuar con las siguientes actividades. (18,19)

- Aradura: En febrero se dará un alzado con arado de vertedera y/o disco, a fin de mullir y airear el suelo hasta 30 - 40 cm., para facilitar así la futura instalación de las plantas. Si fuera preciso aplicar materia orgánica al terreno, ésta se puede extender antes de esta operación para que quede enterrada.
- Paso de rastra: Se realizará en los últimos días de febrero, para romper terrones y facilitar posteriores operaciones. Si fuera preciso la aplicación de abono de fondo y/o enmiendas, éstas se harán antes del pase de grada para su mejor distribución en el suelo. (18,19)

### **3.1.6 ¿Cómo se hace la plantación?**

La plantación consiste en dejar marcados en el terreno aquellos puntos y líneas que definen la plantación, como son las filas de plantas, situación de las plantas, de los postes y tutores, borde perimetral de cierre. (18,19)

Se comienza fijando y marcando la primera línea de plantación y las demás se marcan en paralelo a ésta. (18,19)

Se puede llevar a cabo con una cinta métrica de 25 - 50 metros y varios jalones. Para trazar ángulos de 90°, con la cinta métrica, se forma un triángulo rectángulo de lados proporcionales a 3, 4 y 5 metros. (18,19)

Se emplean estacas, cuerda u otros marcadores para dejar las referencias necesarias para la posterior plantación e instalaciones. (18,19)

### 3.1.7 Plantación.

Como primera medida es importante asegurarse que el material de plantación está libre de enfermedades, aunque la zarzamora no es tan susceptible a virus y otros patógenos como la frambuesa. (18,19)

Antes de realizar la plantación se debe de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) La dirección de la fila que proporciona la mayor insolación es Norte - Sur.
- b) El mayor aprovechamiento del espacio productivo se consigue orientando las líneas de plantación en paralelo al lado mayor de la parcela.
- c) Situar las filas a favor de la pendiente, si ésta no supera el 6 %, para economizar la instalación de riego.

La distancia de plantación es muy variable, dependiendo del tipo de planta: erecto, semierecto o rastro. Varía también según el vigor de la variedad, según la maquinaria a utilizar y el sistema de soporte. Por eso en cuadro 2 se indican diferentes marcos de plantación según sea el tipo de planta. (18,19). En el Cuadro 2 se indican las distancias de plantación más usadas. (18,19)

**Cuadro 2. Distancias de plantación de las zarzamoras.**

ENTRE PLANTAS (m)	CALLES (m)	PLANTAS X HA
1.20	2.40	3,471
2.40	2.40	1,735
2.40	2.70	1,543
2.70	2.70	1,371
2.70	3.00	1,234

Fuente: 18,19

En cuanto a la época de plantación, lo recomendable es a fines de invierno o principios de primavera. Jamás se debe plantar a fines de primavera o principios de verano, porque es cuando comienza a aumentar la temperatura del suelo, y esta impedirá un buen enraizamiento. En caso que fuese inevitable esta opción, después de la plantación se requieren riegos frecuentes. (18,19)

Las plantas deben ser transplantadas inmediatamente después de llegar al campo, para evitar la deshidratación de la raíz. Las plantas deben ser enterradas solamente hasta el nivel de sus raíces, en suelo húmedo y bien apisonado. Después de ser plantadas se realizara la primera poda que consiste en eliminar toda la parte aérea. (18,19)

### **3.1.8 Colocación del acolchado.**

Para evitar la competencia de las malas hierbas y hacer más cómoda la explotación de los cultivos se recomienda la colocación de acolchado, bien en toda la superficie o en solo las líneas de cultivo. (18,19)

Los materiales a utilizar son muy variados: plástico, malla, paja, serrín, corteza, hojarasca de arboles, entre otros. Tanto el mulching como la aplicación de herbicida deben mantener libre de malas hierbas una franja de unos 40 - 50 cm de ancho a lo largo de las líneas de plantación y la vegetación natural de las calles debe segarse con la frecuencia suficiente para evitar que crezca en exceso y lleguen a florecer. (18,19)

### **3.1.9 Sistema de soporte o de conducción.**

Generalmente se recomienda usar el tipo espaldera de 2 o 3 alambres, el diámetro de los postes a usar debe ser de 3 ó 4 pulgadas. Cada poste se coloca a 10 m uno del otro, excepto en la variedad Olallies, en cuyo caso deben colocarse a una distancia de 3 m debido a que es una planta muy vigorosa. El primer alambre se ubica a 80 cm del suelo (esta distancia se deja para poder dar el mantenimiento adecuado y no estorbe el alambre para operar la herramienta), el segundo a 40 cm del primero y el último a los siguientes 40 cm o también en el extremo superior del poste. (18,19)

La colocación de la postacion debe hacerse junto con la plantación o tan pronto las plantas alcancen la altura adecuada para ser amarradas, la colocación temprana de los postes aumentará la producción el primer año. (18,19)

Las formas de conducción que se recomiendan para el cultivo son:

- **Formación de espalderas.** La planta de mora, en condiciones naturales es achaparrada con las ramas y tallos entrecruzados, es necesario guiar o tutorar su crecimiento para facilitar las labores de manejo del cultivo (18,19)
- **Espaldera en línea.** Son soportes para todas las hileras de plantas, un soporte por cada hilera de la plantación, estos soportes pueden ser de diferentes materiales como madera, PVC, nylon, alambre, tubos. (18,19)
- **Espaldera sencilla en línea.** Se realiza enterrando postes de madera, de 2.5m de largo y 10 a 15 cm de ancho, los primeros van al medio y los más gruesos a los extremos, los postes son preparados (inmunizados) antes de ser enterrados a fin de que tengan una mayor duración. Se entierran 50 cm a lo largo de la hilera a una distancia de dos metros, la planta se coloca en medio de los postes. (18,19)
- **Espaldera doble en línea.** En esta forma de sostén, se mantienen los tallos y las ramas de mora en medio de dos hilos de alambre. Los postes de madera, de similares características que en el caso anterior son enterrados 50 cm, ubicando los postes gruesos a los extremos y un par al medio de la hilera para mantener templado el alambre, los postes de menor diámetro, que se emplean en mayor número, se colocan uno cada dos metros. Éstos tienen un pedazo de madera cruzado en forma de T para sostén de los alambres. Aunque su costo es mayor que el sistema anterior, se obtiene óptimos resultados en la cosecha de los frutos. (18,19)

Una vez plantados los postes y trasplantadas las plantas, se debe colocar el alambre, es importante que éste se encuentre listo cuando las plantas hayan alcanzado los 60 cm y no cuando estén mas grandes porque las moras empiezan a tomar forma natural achaparrada, lo que dificulta guiar sus tallos y ramas. El alambre N° 14 se temple a 60 cm del suelo, la primera, las tres filas siguientes se realizan cada 40 cm. En la práctica se colocan solo tres filas de alambre, con ello se reduce

costos, pero se dificulta la recolección ya que las plantas empiezan a colgarse, por lo que esta práctica no es recomendable. En cuanto el control de la maleza se recomienda cada cuatro meses, antes de la fertilización. (18,19)

### 3.1.10 Fertilización

El suelo debe estar bien preparado y si fuese necesario, debe ser enriquecido con materia orgánica de 20 a 40 ton/ha de estiércol vacuno o de oveja. El mejor suelo para la plantación es aquel en que el año anterior se haya cultivado algún cereal o leguminosa. Nunca se debe plantar después de papas, tomates o cucurbitáceas, debido a que en el suelo pueden quedar muchos hongos patógenos que posteriormente dañarán la plantación. (18,19)

Una adecuada fertilización se realiza base a un análisis de suelo y foliar, si no se realizase este análisis un buen indicador de los requerimientos nutricionales del cultivo sería el crecimiento de la planta. (13,18,19)

El nitrógeno es el nutriente más importante debido a que se relaciona directamente con la producción. Es responsable del control del crecimiento vegetativo, y cuando existe una deficiencia de éste el crecimiento de brotes, tamaño de hoja y rendimiento disminuyen, por otra parte, un exceso de nitrógeno produce demasiada vegetación y la fruta podría ser afectada. (13,18,19)

En el cuadro 3 se muestra el consumo de nutrientes en kg/ha del cultivo de zarzamora y otras berries: (13,18,19)

**Cuadro 3 Consumo de nutrientes en kg/ha del cultivo de zarzamora y otras berries**

Cultivo	Rendimiento Ton/ha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S
Fresa	1	6-10	2-4	10	-	-	-
	40	200-250	100-150	400	90-120	60-90	40-75
Frambuesa	1	5-8	2-4	10	-	-	-
	24	140-190	90-140	300	80-110	45-80	35-60

<b>Zarzamora</b>	1	5-8	1-3	10	-	-	-
	18	90-140	70-110	180	70-110	70-90	50-90
<b>Arándano</b>	1	3-6	0.5-2	5	-	-	-
	15	80-120	60-100	140	40-70	30-50	50-90

Fuente: Revista Tecno agro.2008

Y en este cuadro 4 se muestra los niveles óptimos de nutrientes en los tejidos foliares para zarzamora y otras berryes: (13,18,19)

#### **Cuadro 4 Niveles óptimos (ppm) de nutrientes en los tejidos foliares para zarzamora y otras berryes**

<b>Cultivo</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mo</b>
<b>Fresa</b>	2.5-4	0.20-.045	1.1-2.5	0.6-2.5	0.25-0.7	0.15-0.5	50-250	30-350	25-60	6-20	20-50	0.25-0.5
<b>Frambuesa</b>	2.2-4	0.20-0.60	1.1-3	0.6-2.5	0.25-0.8	0.2-0.3	50-200	25-300	25-75	4-20	45-100	-
<b>Zarzamora</b>	2-2.5	0.1-0.3	1.4-1.7	1.3-2.5	0.2-0.5	0.18-0.34	60-300	50-400	15-40	4-20	20-50	-
<b>Arándano</b>	1.75-2.2	0.15-0.4	0.3-0.65	0.35-0.8	0.12-0.3	0.12-0.2	60-100	40-600	15-50	6-20	10-20	-

Fuente: Revista Tecno agro.2008

La forma recomendada de distribución del fertilizante es: el elemento que más requiere este cultivo es el Nitrógeno, con una dosis de 140 kg/ha de Nitrógeno por año, las plantas se desarrollan bien y se obtienen buenos rendimientos. El Nitrógeno puede aplicarse en tres partes: 1/3 del total al inicio del crecimiento, 1/3 a mediados de mayo y el resto después de la cosecha. El Fósforo y el Potasio pueden aplicarse durante la época de lluvias, a lo largo de los setos. La fertilización en combinación con otras prácticas como la eliminación del exceso de cañas, combate de plagas y riego adecuado, tiene por objeto obtener cañas más vigorosas y productivas. Es muy conveniente hacer las tres aplicaciones de Nitrógeno ya que es un elemento de fácil asimilación y que además también se va muy rápido es por eso que para que la asimilación se más eficiente y se eviten perdidas se hace tres aplicaciones. (13,18,19)

### 3.1.11 Riego

La zarzamora en su hábitat nativo es capaz de resistir largos períodos de sequía, sin embargo una repentina interrupción en el abastecimiento de agua puede reducir considerablemente el rendimiento y tamaño de la fruta. (18,19)

En época de activo crecimiento la mora requiere aproximadamente 25.4 mm de agua por semana. Durante el crecimiento de la fruta y época estival el requerimiento hídrico es aún mayor. (18,19)

El riego por aspersión, y recientemente el sistema por goteo, son los más usados en este tipo de cultivo. (18,19)

Para obtener su máxima producción es importante la regularidad en el riego, especialmente durante el crecimiento del fruto, esto dá como resultado mayor grosor de cañas, mayor tamaño de fruto y en consecuencia mayor producción. (18,19)

Para determinar las necesidades de riego, dependen **fundamentalmente de la capacidad de retención de agua que posee cada suelo, de las condiciones climáticas y del estado fenológico de la planta.** Por ejemplo los suelos pesados y arcillosos pueden conservar tres veces más del agua suministrada a uno 30 cm de profundidad, que un suelo liviano y poco profundo debe regarse con pequeñas cantidades de agua y con mayor frecuencia.

Aún cuando el agua y calidad del suelo son parámetros importantes en la productividad, es necesario considerar que un exceso de agua puede inducir a asfixia radical, pudrición de raíces y desarrollo de flora fungosa.

Un buen programa de riego debe considerar básicamente un buen riego antes de la cosecha y riegos ligeros durante ella, siempre que sean necesarios, y finalmente una vez terminada la cosecha y antes de las podas, se debe realizar un último riego.

### 3.1.12 Poda

A la zarzamora se le realiza los siguientes tipos de podas:

- **Formación:** Se hace cuando la planta está en crecimiento y antes de la primera cosecha, consiste en la eliminación de ramas quebradas, torcidas y de aquellas que están en exceso, generalmente se dejan de seis a diez ramas por planta. (18,19)
- **Fructificación:** después de haber realizado la cosecha, se cortan las ramas dañadas por la cosecha y las que han producido frutos; esta poda estimula el crecimiento de las ramas laterales y la formación de nuevas ramas productivas. También es necesario también podar las ramas vegetativas, porque éstas no producen fruto, se distinguen fácilmente porque la punta es cerrada y en forma de látigo. (18,19)
- **Mantenimiento:** La **poda de verano** debe realizarse inmediatamente después de la cosecha. Se debe eliminar toda caña que haya fructificado y las más débiles, ya que estas producen frutos pequeños que no contribuyen sustancialmente a la producción. (18,19)

Las cañas, además se deben despuntar para así forzar la brotación de ramillas laterales sobre las cuales se basará la producción de la siguiente temporada.

El número de cañas que se debe dejar depende de la variedad y la distancia de la plantación usada. Se recomienda dejar un máximo de 9 cañas por planta para obtener una alta producción con fruta de buena calidad. (18,19)

La **poda de invierno** puede ser realizada tanto en esta estación como a principios de primavera, antes que empiece la brotación. Consiste en rebajar las ramas laterales superiores a una longitud de 35 cm. (18,19)

Deben eliminarse todos los brotes que se desarrollen bajo el primer alambre. Esta poda favorece la formación de fruta de mayor tamaño y mejor calidad. (18,19)

**Renovación:** Se realiza a los diez años de vida de la planta y consiste en cortar todos los tallos a 10 cm del suelo, el corte se hace en sentido diagonal y éste se cubre con parafina a fin de evitar que el agua de lluvia penetre y aparezcan

enfermedades. Luego de un año de esta práctica, la planta tendrá gran cantidad de ramas productoras. (18,19)

### **3.1.13 Control de malezas**

Una de las labores culturales más complicadas y de mayor costo en este tipo de cultivo es la eliminación de las malezas, especialmente las limpias de las líneas de plantación, las cuales deben realizarse superficialmente para no dañar las raíces, por eso se recomienda hacerlo en forma manual cada 15 días dentro de la temporada de lluvias, y cada 30 días en la temporada de seca (si se cuenta con riego por aspersión), o según sea el grado de enmalezamiento. (18,19)

Para el cultivo de esta frutilla se debe de tener controlado el crecimiento de la malezas perennes, si esto no es posible se debe realizar rastreos cada 15 a 20 días según el crecimiento de la maleza y la época en la que se encuentre y también se combinen riegos y aplicaciones de herbicidas sistémicos para llegar a la plantación con la población de malezas perennes disminuida y manejable durante el cultivo. (18,19)

Las zarzamoras tienen cierta resistencia a los herbicidas, por lo cual se sugiere el siguiente programa de control: (18,19)

A principios de primavera, antes de la emergencia de las malezas o antes que sobrepasen los 10 cm, aplicar **Simazina 80 o 500 F**, mezclada con **Paraquat, Sinox o Casaron**. No deben mojarse con herbicidas las cañas o brotes de mora que estén emergiendo. **Casaron** solo debe usarse a temperaturas inferiores a 16° C; en caso que sean mayores, debe regarse inmediatamente después para que no se volatilice.

### 3.1.14 Control de plagas y enfermedades

Las zarzamoras generalmente son más susceptibles a plagas que las frambuesas (18,19)

La principal plaga, para este cultivo, lo constituyen los **thrips**, que permanecen sobre ellas durante todo el año, o sobre las malezas durante el invierno. Cuando la planta comienza a florecer, este insecto atraído por el néctar, cubre un gran número las flores. No causan daño a la fruta, pero permanecen en los drupéolos, lo que disminuye la calidad comercial de los frutos. El mayor daño causado por este insecto es en la hoja. (18,19)

Los **áfidos** también ocasionan daño en la hoja, provocándoles un envejecimiento prematuro. (18,19)

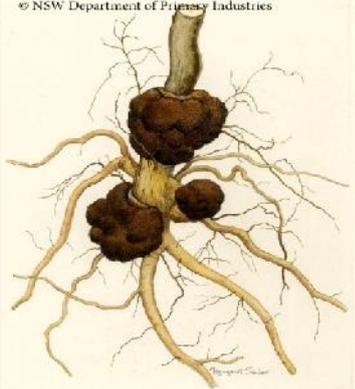
Las enfermedades más conocidas en las zarzamoras son **Oidium, Verticillium, Agallas del cuello y Anthracnosis**. Esta se presenta como lesiones púrpuras en las cañas y las hojas, entre otros síntomas. Se puede controlar aplicando fungicida o también se pueden remover las cañas viejas después de la cosecha. (18,19)

A continuación se muestra el cuadro 5 de enfermedades, plagas y su control:

### Cuadro 5 Enfermedades, Plagas y su Control.

Enfermedades.	Nombre	Consecuencia	Control
	<p>Pudrición del fruto (<i>Botrytis cinerea</i>)</p>	<p>A veces ataca a las ramas y a las hojas, se produce debido al exceso de humedad del suelo o el ambiente.</p>	<p>Se deben cortar y recolectar partes enfermas y se deben quemar, el resto de la mata puede tratarse con Ditiocarbamatos, Ronilan, Captan (Orthocide) o Zineb. (1 a 1.5 g / lt)</p>
	<p>Muerte descendente (<i>Gloesporium sp.</i>)</p>	<p>Se presenta como manchas grises con margen café morado, que debilita las plantas de arriba hacia abajo, los frutos se deforman y no maduran.</p>	<p>Separación y quema de la planta enferma. El tratamiento químico es parecido al de Botrytis.</p>

		<p>Marchitez (<i>Verticillium sp.</i>)</p>	<p>Ataca a las raíces pudriéndolas, el interior del tallo adquiere un tono café, el síntoma se presenta con una coloración amarillenta de las hojas.</p>	<p>El control se realiza mediante desinfección del suelo con formol al 2% o fungicidas a base de cobre (óxido cuproso) como el Nordox 50, se la previene cultivando en suelos bien drenados.</p>
	<p>Roya (<i>Gymnoscoria sp.</i>)</p>	<p>Ataca a las hojas, se manifiesta con pústulas anaranjadas que se desarrollan en el envés de la hoja y tallos.</p>	<p>Se controla con fungicidas a base de cúpricos o azufre.</p>	
	<p>Cenicilla (<i>Oidium sp.</i>)</p>	<p>Las hojas infectadas se tornan amarillentas y se retuercen, en el envés se observan manchas de polvillo blanco.</p>	<p>Se controla con fungicidas a base de azufre. Con Nimrod (300 - 400 ml en 20 l de agua)</p>	
	<p>Mancha foliar (<i>Cercospora sp.</i>)</p>	<p>En las hojas se presentan manchas redondeadas con centro de color pardo oscuro y bordes violáceos con un margen amarillento.</p>	<p>El control preventivo se lo realiza con una buena dotación de nutrientes a la planta, el curativo con Ditiocarbamatos o cúpricos.</p>	

 <p>© NSW Department of Primary Industries</p>	<p>Agalla de la corona (<i>Agrobacterium tumefaciens</i>)</p>	<p>Produce agallas y tumoraciones del tallo cerca del cuello.</p>	<p>Se deben eliminar las plantas enfermas y desinfectar el suelo con Vapan o Ditrापex.</p>
	<p>Putrición de la raíz (<i>Rosellina sp.</i>)</p>	<p>Se controla mediante la desinfección del suelo contaminado con Benlate.</p>	

Plagas	Nombre	Consecuencias	Control
	<p>Pulgones (<i>Aphis sp.</i>)</p>	<p>Son insectos que atacan a las hojas tiernas de la mora, chupan la savia y son transmisores de virus.</p>	<p>El control se realiza con insecticidas como Malathion (0.9 a 1.0 kg/ha), Furadan 3G o Methomil (25 a 30 g / planta).</p>
	<p>Araña roja (<i>Tetranychus sp.</i>)</p>	<p>Esta araña se localiza en el envés de la hoja, causando la formación de manchas pardas y amarillentas, el fruto adquiere un color rojo oxidado.</p>	<p>El control se realiza con azufre (0.8 a 1.0 kg/ha), Polimat o Kelthane (1.2 a 2 cc/l de agua).</p>

	<p>Gusano del fruto (<i>Anastrepha sp.</i>)</p>	<p>La larva de esta mosca pone los huevos en el fruto, estas larvas al eclosionar se alimentan del fruto.</p>	<p>El control se realiza con Nuvan. (1 g / l de agua)</p>
	<p>Barrenador del tallo (<i>Epialus sp.</i>)</p>	<p>Destruye el tallo y las perlas de las raíces.</p>	<p>Se controla con insecticidas sistémicos, siempre y cuando la planta no esté en producción para que el insecticida no pase al fruto. Se usa Ekalin (4 cc / lt de agua) y Furadan. (25 a 30 g / planta)</p>

### 3.2 COSECHA

La cosecha en México se inicia en Diciembre y termina en Junio, presentándose ligeras diferencias de precocidad de acuerdo con las variedades.(19)

Se deben cosechar sólo aquellos frutos maduros que se desprendan fácilmente y enteros, tomándolos individualmente y depositándolos de inmediato en recipientes pequeños sin rebordes en las paredes, para evitar el deterioro de la calidad. Se recomienda hacer la recolección cada tres días, de preferencia por la mañana y suspendiéndola cuando el sol esté fuerte, para evitar el deterioro del producto. (19)

Para la cosecha se requiere de 8 a 10 personas por hectárea durante el inicio y final del período productivo y de 24 a 30 cuando se presenta el máximo de producción. Se ha calculado que una persona puede cosechar aproximadamente 45 kg en 6 horas. Si la producción va a destinarse al consumo en fresco es necesario llevarla lo más pronto posible al centro distribuidor o directamente al mercado. Si fuere

necesario almacenarla, deberá mantenerse a temperatura de -0.5 a 0° C y humedad relativa del 90 al 95%, lo que requerirá de instalaciones especiales. (19)

### **3.3 BENEFICIOS DEL CONSUMO DE LA ZARZAMORA.**

A la zarzamora, además de un sabor agridulce y atractivo colorido que da un toque de delicadeza a los platillos, se le atribuyen desde tiempos antiguos propiedades curativas por su contenido nutricional; por ejemplo: Las zarzamoras son ricas en vitamina E lo cual las convierte en una fruta muy útil para el tratamiento y la prevención de problemas circulatorios. Son una buena fuente de vitamina C, lo que junto a la vitamina E, las convierte en una fruta con propiedades antioxidantes. Otro componente de las zarzamoras es la pectina, sustancia que es considerada fibra soluble que ayuda a reducir los niveles de colesterol en sangre. (19)

#### **Productos Agroindustriales**

En el país, la mayor parte de las zarzamoras con destino agroindustrial tiene presentación en congelado, empleando el sistema IQF (Individual Quick Frozen), mismo que permite el uso del producto por pieza o en bloque. (19)

- Se utiliza para la elaboración de: jugos, pulpas concentradas, extractos, saborizantes en yogurt o helados, polvos deshidratados, jaleas y ates.
- Las zarzamoras son comestibles y a menudo se emplean para la confección de licores.
- Se utilizan para la preparación de zumos, mermeladas (relleno en repostería), confituras y mosto de frutas.

#### **Productos de la Salud**

- Los frutos son excelentes como diuréticos.
- Los brotes tiernos cocidos tienen propiedades astringentes.
- Las hojas y flores muy recomendadas en hemorroides y en diarreas. Para uso interno en infusiones al 25 por mil.
- Utilizado en el tratamiento de hemorroides, heridas, escorbuto y avitaminosis.

### **3.4 Agricultura protegida.**

La agricultura protegida es un sistema de producción que se realiza bajo diversas estructuras, tendenciales a proteger el cultivo con el objeto de minimizar algunas restricciones que imponen los fenómenos climáticos a los cultivos. La agricultura se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este tipo de sistema de producción tenga como característica básica su protección, no obstante, el riesgo puede ser climatológico, económico (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos productivos (agua o tamaño de la superficie). Por lo tanto, es importante establecer el tipo de riesgo que está protegiendo y las implicaciones de costo así como los nuevos paradigmas de riesgo.

La agricultura protegida es una tendencia que ha modificado las formas o sistemas de producir alimentos y que genera múltiples ventajas para los productores del campo. Además, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, capaces de enfrentar con éxito plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en un espacio reducido, sanos y con un mejor precio en los mercados. Esto se traduce, evidentemente, en un mejor ingreso para los productores. (23)

Además los avances en el desarrollo agrícola, contribuyeron a la degradación del ambiente y que en los próximos 30 o 50 años las necesidades de alimentos se duplicarán por lo que el desafío será satisfacer las necesidades de una mayor población con menos tierra agrícola y agua. (23)

Por otra parte, el efecto del cambio climático, sería el ascenso de temperatura, que se reflejará, en primera instancia, en un aumento de la evaporación y evapotranspiración, y en una reducción de la precipitación y de los escurrimientos, lo que incidirá, en un mediano plazo, en la aceleración de los procesos de desertificación y de redistribución de! recurso hídrico. Las variaciones en la distribución del agua y la temperatura tendrán efectos diferenciados sobre el uso del suelo y la distribución de los seres vivos (cultivos, ganado o asociaciones vegetales naturales). (23)

El reto para el futuro será la de producir grandes volúmenes de alimento de calidad pero enfrentado al cambio climático, mediante la innovación, investigación de

nuevas formas de producir, mejorando variedades y ser mas eficientes en los procesos.

En México la agricultura protegida está teniendo un gran auge, en el área hortofrutícola. Y entre sus ventajas y desventajas son :

Ventajas:

- La producción dentro el sistema es muy rentable.
- Se pueden controlar las inclemencias del tiempo frío, heladas, granizo, agua, viento.
- Se pueden controlar las enfermedades dentro de las cubiertas
- La calidad de los productos es mejor con respecto a la que se cultiva en campo abierto, debido a que se mejoran las condiciones para su total desarrollo de la planta.
- Se Ahorra agua y es posible reutilizar la cuando se tienen sistemas hidropónicos.

Entre las desventajas tenemos: (7)

- Inversión inicial alta.
- Desconocimiento de las estructuras más apropiadas para cada región.
- Alto nivel de especialización y necesidades de capacitación del personal.
- Altos costos de producción.
- Condiciones optimas para el rápido ataque de plagas y enfermedades ya que la humedad relativa dentro de la cubierta es mayor que la de afuera, trayendo serios problemas de enfermedades y plagas siempre y cuando no se tengan los controles a tiempo
- Alta dependencia de las condiciones de mercado.

### 3.4.1 Tipos de cubiertas.

Es difícil establecer una línea divisoria entre lo que es un invernadero y un macrotúnel, por no existir un parámetro definido. No obstante, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado en la cubierta por cada metro cuadrado de suelo. En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, podemos definir como invernadero es aquella estructura que supera los 2.75 a 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de volumen de aire encerrado en la cubierta.

Los tipos de cubiertas plásticas, que podemos encontrar son: el acolchado, túnel bajo, túnel o macro túnel e invernadero. Cuando la pantalla se coloca sobre el suelo y debajo de los órganos aéreos de la planta se llama acolchado figura 1.



**Figura 1 Acolchado.**

Los rompevientos constituyen protecciones laterales. Cuando las cubiertas plásticas se colocan sobre las plantas, a modo de cubierta tenemos un tercer tipo de protecciones: invernaderos, túneles, y cubiertas flotantes.

Las cubiertas flotantes, también conocida como cubiertas plásticas y acolchados flotantes, la protección esta directamente apoyada sobre las plantas sin estructura que la soporte.

Los túneles bajos o microtúneles son pequeñas estructuras que soportan la pantalla que provee protección temporal al cultivo, con una altura que no excede, de 1mts, en ellos las prácticas culturales se efectúan desde el exterior, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2 túnel bajo**

Los túneles o macrotúneles son aquellos que permiten el paso de una persona por su interior, y el de algún tipo de maquinaria como es el caso de los motocultores o tractores pequeños y el cultivo de especies de cierta altura, figura 3.



**Figura 3 túnel o macrotúnel**

Los invernaderos difieren de las demás protecciones en que son de mayor solidez y suficientemente altos y anchos para permitir el cultivo de especies de altura diversa, incluso árboles frutales. Figura 4



**Figura 4 Invernadero.**

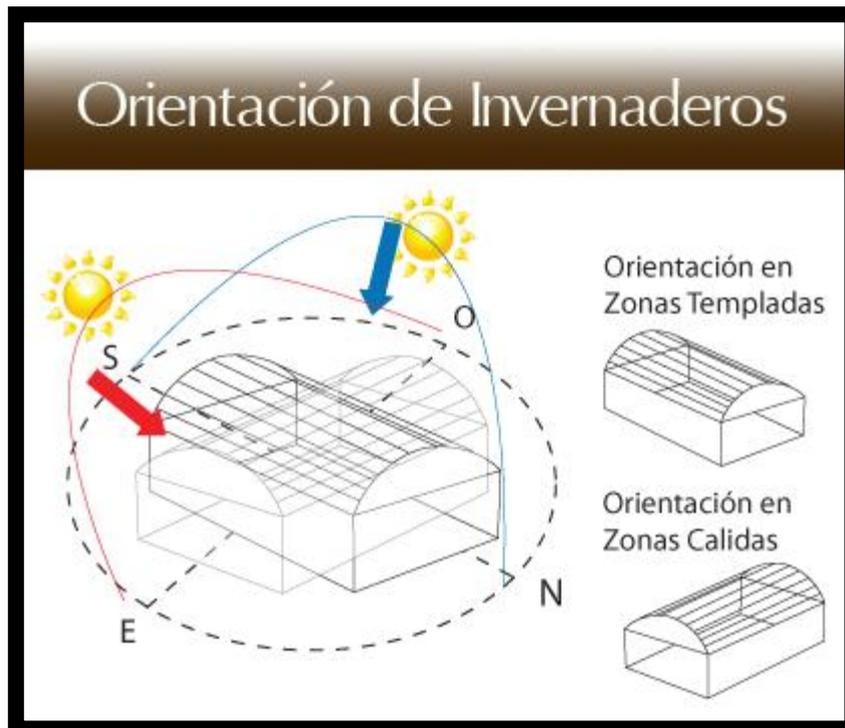
### **3.4.2 La orientación**

Uno de los factores que más incide en la producción de cualquier especie vegetal es la luz, por lo que debemos procurar que ésta llegue lo mejor posible a la cubierta, y esto se consigue con la orientación, que hará que los rayos solares penetren en mayor o menor grado. Por lo que la orientación más conveniente es ESTE – OESTE, o sea que el lado más largo del invernadero quede hacia el NORTE y por lo tanto el sentido de la hilera sea de NORTE A SUR.

Otro factor a tener en cuenta al decidir la orientación del macro túnel es el viento.

Es deseable tener una mínima exposición a los vientos predominantes. El viento fuerte trae el peligro de daño tanto en la estructura como en el material de la cubierta. Lo ideal es que el invernadero presente la menor resistencia posible, esto se logra orientando el invernadero con su lado más largo en la dirección de los vientos predominantes. (14), así como se muestra en la figura 5. Orientación de las cubiertas.

**Figura 5: Orientación de las cubiertas.**



Fuente: Serrano 2005.

### 3.4.3 Estructura.

La estructura de una cubierta es uno de los factores más importantes, ya que la resistencia que tenga ésta va estar relacionada con la economía del proyecto de construcción. La estructura ésta conformada por el conjunto de elementos verticales, horizontales y curvos, que son los que otorgan forma y resistencia a la cubierta y su función es soportar la carga y esfuerzos que ocasionan los materiales a la misma, riego, viento, granizo, lluvia y nieve. Los materiales más comunes que construyen un macro túnel o un invernadero son la madera, fierro, acero, PVC.(7)

- Madera: es barata y fácil de conseguir y trabajar, a la que se le puede dar un tratamiento de protección basado en queroseno diesel en la parte que se entierra, las partes expuestas al aire libre puede protegerse con pinturas plásticas para exteriores. También se puede utilizar bambú entre otros.(7)
- Acero: es el material más empleado en la construcción de estructuras para invernaderos y túneles, por la diversidad de elementos y secciones que se localizan en el mercado tales como: laminas, varilla corrugada, lisa, perfil tubular negro de diferentes cédulas ( 30 y 40 que son la mas comunes) soleras, perfil cuadrado y rectangular ,ángulos, entre otros.(1) La manufactura

de materiales especiales para invernaderos y túneles ha sido una limitante para el desarrollo de esta industria, encontrando en México algunos materiales para la construcción que han tenido que irse adaptando para poder desarrollar tecnología nacional.(1) En la actualidad los materiales de acero más usados en la industria de los invernaderos y túneles son:

- Acero galvanizado.
- Acero negro impermeabilizado.
- Placa de acero al carbón.
- Placa de acero rolada en frío galvanizado.
- Perfil tubular negro calibre 30 o 40.
- PVC: es uno de los materiales más comunes y de fácil acceso viéndolo desde el punto de vista económico, es un material ideal para construir macro túneles no mayores a 20m<sup>2</sup> Fuerte y ligero.- la resistencia del PVC a la abrasión, su ligereza y su buena resistencia y fuerza mecánica son la clave de su uso en la construcción es resistente en tramos pequeños. Pero con el paso del tiempo y su exposición a la luz solar el PVC pierde rigidez, se vuelve muy frágil y quebradizo

#### **3.4.4 Materiales de cubiertas.**

La cubierta de una estructura permitirá conservar la temperatura en su interior para el buen crecimiento y desarrollo de los cultivos (7), la elección del material dependerá de una serie de criterios o indicadores, que interaccionados entre sí, ayudarán a elegir el material más apropiado. Estos indicadores son:

- 1) Estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico
- 2) Propiedades ópticas, térmicas y mecánicas del material de cubierta.
- 3) Respuesta agronómica debida al material empleado (precosidad, producción y calidad).

El material ideal sería el que cumpliera los requisitos siguientes: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, gran transparencia a las radiaciones solares, gran opacidad a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por suelo y planta durante la noche.

Los materiales que pueden cumplir todas estas exigencias son caros y requieren estructuras costosas. Un material ideal sería el que tuviese el espesor y flexibilidad de los plásticos y las propiedades ópticas del vidrio. Es decir, el que sea muy permeable, durante el día, a las radiaciones de longitud de onda inferiores a 2.500 nm y por la noche fuera lo más opaco posible a las radiaciones de longitud de onda larga, emitida por suelo y plantas, que son las que mantienen calientes a los invernaderos.(17)

Los materiales de cubierta se dividen en tres grupos:

- Vidrio.
- Plásticos rígidos: polimetacrilato de metilo (PMM), policarbonato (PC), poliéster con fibra de vidrio, policloruro de vinilo (PVC).
- Plásticos flexibles: policloruro de vinilo (PVC), polietileno de baja densidad (PE), etileno vinilo de acetato (EVA), policloruro de vinilo (PVC) y materiales contruidos.

## **Vidrio**

Este material fue el primero en utilizarse hasta la aparición de los materiales plásticos. Se emplea principalmente en zonas de clima extremadamente frío o en cultivos especializados que requieren una temperatura estable y elevada.

El cristal que se utiliza como cubierta de invernadero es siempre el vidrio impreso. El vidrio impreso, es una masa de vidrio fundido se lamina entre dos rodillos obteniéndose un vidrio plano en el que una de las caras tiene un dibujo grabado, está pulido por una parte y por la otra está rugoso. En la colocación del cristal sobre la cubierta de la instalación, la cara rugosa quedará hacia el interior y la cara lisa hacia el exterior. Así recibirá por la parte exterior casi todas las radiaciones luminosas que al pasar a su vez se difundirán en todas las direcciones al salir por la cara rugosa.(17)

El principal problema del vidrio es su vulnerabilidad a los impactos, especialmente zonas con altas posibilidades de granizo limitan su uso. Otro inconveniente es su peso y que se trata de unidades pequeñas necesitando por tanto estructuras sólidas y estables que soporten su peso y eviten la rotura del material por desplazamientos de la misma. Esto provoca que los elementos estructurales produzcan importantes sombras dentro del invernadero. Requiere un mantenimiento regular de limpieza y sellado.(17)

El cristal tiene la propiedad de ser casi totalmente opaco a las radiaciones de longitud de onda larga, es decir, a las que emiten las plantas y el suelo por la noche; esta cualidad del vidrio es muy interesante, ya que las pérdidas de calor durante la noche son mucho menores que las que ocurren con los demás materiales plásticos utilizados como cubierta. (17)

El vidrio utilizado para invernadero tiene un espesor de 2 a 4 mm con una densidad de  $2.400 \text{ Kg/m}^3$ . El tipo de vidrio usado es el que se muestra en la figura 6



**Figura 6: Vidrio impreso.**

## **Plásticos rígidos**

### **Polimetacrilato de metilo (PMM)**

Es un material acrílico, que procede del acetileno mediante formación de acrilato de metilo y polimerización de éste último. Se conoce comercialmente como vidrio acrílico o plexiglass. Es un material ligero con una densidad de  $1.180 \text{ kg/m}^3$ . Presenta buena resistencia mecánica y estabilidad.(17)

La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos ultravioleta (UV) y su poder de difusión es casi nulo. Tiene una gran opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo. (17)

La resistencia a la rotura es siete veces superior a la del cristal a igualdad de espesores, por lo que resulta más resistente a los golpes. (17)

A pesar de su ligereza el vidrio acrílico puede soportar una sobrecarga de 70 kg por metro cuadrado, lo cuál es importante para aquellas zonas con riesgo de nevadas; el coeficiente de conductividad térmica de polimetacrilato de metilo es de 0.16 kilocalorías/metro-hora °C

Entre las ventajas que ofrece el vidrio acrílico están:

- resistencia a los agentes atmosféricos
- deja pasar los rayos ultravioleta (UV)
- gran resistencia al impacto, por lo que a penas existen roturas
- facilita el deslizamiento de la nieve
- gran transparencia a las radiaciones solares
- uso de estructuras más ligeras que las que precisa el vidrio.

Se fabrican en placas de hasta 2 metros de ancho y más de 3 metros de largo. Las placas extrusionadas tienen 4 mm de espesor y la longitud que se precise

### **Policarbonato (PC)**

El policarbonato es un polímero termoplástico con buena resistencia al impacto y más ligero que el polimetacrilato de metilo PMM.

Es un material muy ligero, comparado con el grosor de la placa; aproximadamente es 10 a 12 veces menos que el vidrio, a igualdad de espesor. (17)

El policarbonato tiene una gran resistencia al impacto (granizo, piedras.)

En los fabricados actuales en la pared, que queda en el interior, puede llevar un tratamiento anticondensación y antigoteo, que permiten el deslizamiento de las gotas de agua, sin que llueva sobre el cultivo. (17)

La duración de las placas de policarbonato celular está garantizada por los fabricantes en 10 años. (17)

## **Poliéster con fibra de vidrio**

Está fabricado con poliésteres insaturados y reforzados con fibras minerales u orgánicas. Éstas proporcionan resistencia mecánica y mejoran la difusión de la luz.

Este plástico se presenta en forma de placa. Este poliéster se fabrica con una mezcla de un 65% de resinas termoendurecibles de poliésteres no saturados y con un 35% de fibra de vidrio o de nylon, aproximadamente; esta fibra sirve para reforzar la placa. (17)

La propiedad principal del poliéster es la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme. Como toda materia orgánica las placas de poliéster se ven afectadas por la radiación ultravioleta UV que produce en ellas cambios de color. El amarillo primitivo adquiere tonos más fuertes según va pasando el tiempo, que se transforman en tonos tostados, para terminar adquiriendo tonalidad marrón. El viento, arena, lluvia, nieve y granizo, e incluso el polvo, trabajando en conjunto y con la ayuda de la radiación ultravioleta UV y la oxidación se combinan para desgastar la superficie de las placas y erosionarlas, dando lugar al florecimiento de las fibras y a su oscurecimiento. Ello da lugar a una pérdida de transparencia y a una reducción del poder de difusión de la luz. (17)

Las láminas de poliéster reforzado tiene una transparencia a las radiaciones solares comprendidas entre el 80-90%. El poder de reflexión está entre 5 y 8%; su poder absorbente es del 15-20%.(17)

El poliéster reforzado con fibra de vidrio tiene un gran poder absorbente para las radiaciones ultravioleta UV de la luz; la lámina de polifluoruro de vinilo es aún más absorbente en esas radiaciones. Tiene un gran poder de difusión a la luz. (17)

Las placas de poliéster se fabrican en anchuras de 1,20 metros, por la longitud que se precise, y 2-3 mm de espesor.

Estas placas se fabrican en distintos perfiles: trapezoidal, escalera, ondulado, etc. a parte de darle mayor resistencia, permite enlazar unas placas con otras y fijarlas a los soportes y estructuras.

## **Policloruro de vinilo (PVC)**

Se obtiene por polimerización del monómero cloruro de vinilo. Procede del acetileno y del etileno, derivados éstos del petróleo y de la hulla. Este material es rígido y es necesario añadirle plastificantes, con objeto de obtener láminas flexibles. (17)

Se presenta en placas lisas u onduladas con espesores entre 1 a 1,5 mm.

Su principal ventaja es una opacidad a la radiación térmica menor del 40%, y una alta transmitancia a la radiación visible, aproximadamente del 90%.

Los filmes de PVC se presentan en su versión de PVC armados que consisten en una red interior que mejora las cualidades físicas de la lámina, por contra se reduce la transmitancia. (17)

Para mejorar su comportamiento se añaden antioxidantes, estabilizantes y absorbentes de rayos ultravioleta (UV). Así, el PVC Fotoselectivo-fluorescente es aquel en que se han añadido aditivos que mejoran la captación entre los 0,5 y 0,6 mm.

Los materiales de PVC tienen el inconveniente de fijar bastante el polvo en su superficie. (17)

## **Plásticos flexibles**

Son materiales sintéticos, compuestos generalmente por moléculas orgánicas con un elevado peso molecular. Son termoplásticos, es decir, permiten ser sometidos a diferentes ciclos térmicos pudiendo ser fundidos y solidificados tantas veces como sea necesario. Son materiales ligeros, de fácil transporte y manipulación. (17)

## **Policloruro de vinilo (PVC)**

Es un material rígido que mediante plastificantes se consigue transformar en flexible. Las láminas se fabrican por calandrado lo que limita el ancho de la lámina a 2 m, llegando hasta 8 m mediante sucesivas soldaduras. Su densidad es de 1250 – 1500 kg/m<sup>3</sup>, siendo más pesado que el PE. (17)

Su resistencia al rasgado es muy baja, por lo que requiere de estructuras poco agresivas que mantengan bien sujeta la película. También se le añaden antioxidantes, estabilizantes y absorbentes de rayos ultravioleta (UV). 17

Transmite la luz visible en porcentajes elevados, pero con baja dispersión. Su elevada electricidad estática hace que el polvo se adhiera fácilmente, restándole transmisividad.

El PVC envejece más lentamente que el polietileno PE; la degradación o envejecimiento del PVC se traduce en pérdidas de transparencia, coloración de la lámina y fragilidad a la rotura. (17)

El envejecimiento o degradación del PVC es debido a cambios químicos producidos por el calor y la luz en presencia del oxígeno; también se debe a que el plastificante se disuelve. Hay algunos microorganismos que viven a expensas de los carbonos de los plastificantes. (17)

La duración de estos materiales dependen del tipo de plastificante empleado en su fabricación y la clase de PVC; el flexible tiene menos duración que el armado y, a su vez, éste dura menos que las placas rígidas. Se estima su duración entre 2 ó 3 años para láminas flexibles, siendo superior a 6 años para láminas rígidas. (17)

### **Polietileno (PE)**

Es el plástico flexible más empleado actualmente para forzado de cultivos en invernaderos, túneles y acolchado. Esto se debe principalmente a su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones. El polietileno PE junto al polipropileno (PP) y al PVC, son los termoplásticos de más consumo. (17)

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican en:

- Baja densidad:  $< 930 \text{ kg/m}^3$ .
- Media densidad:  $930 - 940 \text{ kg/m}^3$ .
- Alta densidad:  $> 940 \text{ kg/m}^3$ .

Para el cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad (baja cristalinidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500 %. Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50 % de su valor inicial. El PE se degrada por la radiación UV y el oxígeno, por lo que la

exposición permanente a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas. (17)

Para evitar esto es común añadir en el proceso de fabricación del PE diversas sustancias:

- Absorbentes de radiación UV (derivados de benzotriazoles y benzofenona).
- Secuestradores de radicales libres.
- Desactivadores (sales orgánicas de níquel).
- Estabilizantes (Hindered Amines Light Stabilizers).

Así existen dos grandes grupos de aditivos:

- Aditivos de proceso. Destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero.
- Aditivos de aplicación. Se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos.

El polietileno PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en agricultura; el poder de reflexión es de 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según esto, la transparencia del polietileno PE está comprendida entre el 70-85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

El polietileno PE de baja densidad es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. El de alta densidad tiene más resistencia que el PVC flexible pero menos que el resto de los demás plásticos. Se desgarran con facilidad(17).

El polietileno PE es el material plástico que menos densidad tiene; es decir, es el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de grosor. (17)

El polietileno PE no se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero. (17)

En el mercado existen tres tipos de polietileno:

*a) Polietileno Normal.*

Presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas.

En el PE transparente normal se forma una lámina de agua, que aunque tiene inconvenientes para los cultivos, retiene un poco el calor que emiten las plantas y el suelo durante la noche. (17)

Las láminas de PE normal, cuando se utilizan como cubierta de invernadero, sino lleva en su composición antioxidantes e inhibidores de rayos UV, la duración de éstos tipos de plásticos no excede de un año, reduciéndose a 10 meses cuando la luminosidad es muy fuerte y prolongada y las oscilaciones térmicas son considerables.

*b) Polietileno Normal De Larga Duración*

Este tipo de PE tiene unas características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los antioxidantes e inhibidores que lleva en su composición. (17)

La duración de este tipo de plástico es de 2 a 3 años, según la luminosidad y el régimen de viento al que se éste expuesta la lámina.

*c) Polietileno Térmico De Larga Duración*

El PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (tiene una permeabilidad del 18% a las radiaciones longitud de onda larga en grosores de 800 galgas). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas absolutas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de polietileno (PE) normal. (17)

El PE transparente térmico, por los aditivos que se emplean en su fabricación, tienen un gran poder de difusión de la luz, que en algunas marcas comerciales puede llegar al 55% de la radiación luminosa que atraviesa la lámina de plástico; también, por la misma razón de los aditivos añadidos, tienen un buen efecto antigoteo. (17)

La técnica de la coextrusión permite combinar propiedades que no pueden ser reunidas por un polímero único, las propiedades más comunes son optimización termicidad, estabilidad frente a las radiaciones UV, mejora de las propiedades mecánicas, antimoho, antipolvo.

### **Copolímero etil-acetato de vinilo (EVA)**

Actualmente se están fabricando los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA). Se sintetiza por calentamiento suave de etileno y acetato de vinilo (AV) en presencia de peróxidos. La proporción usual en acetato de vinilo AV para agricultura oscila entre el 6% y el 18 %. Esta formulación mejora las propiedades físicas del polietileno incluyendo su resistencia a la ruptura en bajas temperaturas y al rasgado. (17)

Su transparencia a la luz visible cuando el material es nuevo es más alta que la del polietileno térmico, la opacidad a las radiaciones térmicas depende del contenido de acetato de vinilo, siendo necesario del 15 al 18% de vinilo VA para conseguir un buen nivel térmico para un espesor de 0,15 a 0,20 mm. (17)

Resulta más caro que el polietileno térmico. De entre los films plásticos es el que presenta mayor resistencia a los rayos ultravioleta UV.

Los problemas más importantes que presentan los copolímeros EVA son su excesiva plasticidad (cuando se estiran no se recuperan), gran adherencia al polvo lo que puede provocar reducciones de hasta un 15 % en transmisividad a la radiación solar. Son difíciles de lavar debido a su alta carga electrostática.

Respecto a la duración de la lámina como cubierta de invernadero es de 2 años para los grosores de 800 galgas y de 1 año para los grosores de 400 galgas.

En las láminas de copolímero EVA con un alto contenido de acetato de vinilo (AV), son los recomendables para cubierta de invernadero en lugares geográficos con excesiva luminosidad y temperaturas elevadas, por las grandes dilataciones que sufre este material (cuanto más porcentaje de AV mayor dilatación con calor), que luego da lugar a bolsas de agua de lluvia y la rotura por el viento.(17)

Y como resumen en los siguientes cuadros podemos observar: cuadro 6 se muestran propiedades térmicas de los materiales plásticos. Y en el cuadro 7 características, ventajas, y limitaciones del vidrio y el plástico.

**Cuadro 6 Propiedades térmicas de los materiales plásticos.**

	FLEXIBLES		RÍGIDOS			
	Poliétileno	PVC	PVC ondulado	Polimetacrilato de metilo	Poliéster estratificado	Cristal
Características	(0,08 mm)	(0,1 mm)	(1-2 mm)	(4 mm)	(1-2 mm)	(2,7 mm)
Densidad	0,93	1,3	1,4	1,18	1,5	2,40
Índice de refracción	1,512	1,538	-	1,489	1,549	1,516
% de dilatación antes de que se rompa	400-500	200-250	50-100	escasa	escasa	nula
Resistencia al frío y calor	-40+50° C	-10+50° C	-20+70° C	-70+80° C	-70+100° C	muy elev.
Duración	2 años	2-3 años	elevada	elevada	elevada	elevada
Transparencia % (0,38-0,76 micrones)	70-75	80-87	77	85-93	70-80	87-90
Transmisión % (-0,24-2,1 micrones)	80	82	82	73	60-70	85
Transmisión % (7-35 micrones)	80	30	0	0	0	0

Fuente: Cárdenas 2010

**Cuadro 7: Características, ventajas, y limitaciones del vidrio y el plástico.**

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	LIMITACIONES
<b>Vidrio</b>	Hasta hace poco tiempo era el material más idóneo. Actualmente se puede contar con materiales plásticos de propiedades ópticas, físicas y químicas comparables a las del plástico.	Soporta altas cargas, (relacionadas con el grosor). Gran duración. Muy buena transparencia a la luz solar. Excelente efecto de pantalla a la radiación emitida (de longitud de onda larga)	Alto precio. Elevado peso. Riesgo de roturas con peligro para los operarios. Dificultades en el montaje (requiere encajes especiales en la estructura).
<b>Plástico</b>	Algunos materiales que se encuentran en el mercado reemplazan satisfactoriamente al vidrio. De gran expansión especialmente en zonas templado-cálidas.	Menor riesgo de rotura por granizo. Bajo peso. Facilidad de montaje sobre la estructura. Menor precio que el vidrio.	Algunas de sus propiedades se alteran con el tiempo, por efecto del sol y del mojado con plaguicidas.

Fuente el invernáculo <http://www.agrobit.com/>

**NOTA:** de todos los materiales antes mencionados el que más se ajusta al poder adquisitivo de un agricultor, es el plástico térmico de 720 galgas ya que su precio por metro cuadrado es de \$13.47M.N. y en comparación con los otros materiales como el caso de la placa de PVC que su precio por metro cuadrado es de \$164.10M.N. y el cristal es de \$496.00 M.N. (cotización al día 5/01/12)

Con respecto a los colores de los plásticos se tiene que tomar en cuenta los colores de RFA (Radiación Fotosintéticamente Activa)

La luz azul con longitudes de onda entre 400 y 490nm es una de las dos fuentes principales de energía para las plantas. Clorofila A y clorofila B son los centros clave para la Fotosíntesis, la absorción de longitudes de onda de luz azul (Fig. 1). Las longitudes de onda de 490 a 550nm son luz verde, y de 550 a 610nm son luz amarilla. Éstas no son absorbidas por las plantas, sino reflejadas, por eso vemos las plantas de color verde o verde amarillento. Las longitudes de onda de 610 a 650nm son luz naranja y son absorbidas principalmente por clorofila B mientras que las longitudes de onda de 650 a 760nm son de luz roja y roja lejana y son absorbidas principalmente por clorofila A. Estas longitudes de onda son también muy importantes para la Fotosíntesis.

En los colores translúcidos son más efectivos que los opacos en el incremento de la temperatura debido a que tienen una transparencia de entre un 80-90% de la radiación recibida. Sin embargo, su uso no es aconsejable en cultivos estivales bajo cobertura ya que podría provocar la muerte de plantas por hipertermia. (24)

El Acolchado Negro absorbe el 90-95% de la radiación transformando la misma en calor, por tanto es el que mayor temperatura presenta en su superficie y presenta mayores temperaturas en los primeros centímetros de suelo pero es menos eficiente en el calentamiento en profundidad del suelo

Los Naranjas y Verdes son semitraslucidos por lo que permiten el paso de la radiación directa del sol en mayor o menor grado dependiendo de la concentración del pigmento, provocando un calentamiento del perfil del suelo en profundidad menor que el cristal y mayor que el negro.

Los acolchados Blanco/Negro y Plata/Negro van a reducir la temperatura del suelo por la gran reflexión de radiación solar que producen estos materiales. Si bien anteriormente sostenemos que elevar la temperatura del suelo nos beneficia, no siempre es así, por ejemplo con este tipo de materiales que disminuyen la temperatura nos permite realizar el trasplante en épocas de calor que de otra manera tendríamos pérdida de plantas por hipertermia.

### **3.5 DISEÑO DEL MACROTÚNEL.**

Para el diseño del macrotúnel hay que tomar en cuenta los factores geográficos, las condiciones climáticas y las consideraciones técnicas del lugar donde se va implementar el macro túnel. (6,7)

#### **3.5.1 Factores geográficos.**

Latitud.

Es un factor fundamental al tomar decisiones para el diseño debido a que cada latitud las condiciones climatológicas son específicas como: precipitación, radiación solar, humedad relativa y comportamiento del viento. (6,7)

Altitud.

La altura sobre el nivel del mar esta muy relacionada con la temperatura, porque tenemos que a nivel del mar hay una temperatura determinada en una época del año y esta tiende a ir disminuyendo conforme ascendemos hacia altitudes superiores encontrando de esta manera diferentes climas según altitud, y por lo tanto también encontramos diferencias en la radiación solar, intensidad luminosa, velocidad del viento y humedad relativa. (6,7)

Topografía.

El relieve del terreno es un factor muy importante para el diseño de los módulos de una construcción, en regiones de topografía muy accidentada será difícil establecer un modulo de dimensiones grandes, por esto deberán diseñarse acorde a las necesidades de espacio, orientación, ventilación, drenaje y operación. En relación con la pendiente se recomienda buscar el terreno lo más plano posible. En caso contrario los resultados son negativos. (6,7)

#### **3.5.2 Factores climáticos.**

Para establecer un cultivo cualquiera es necesario tomar en cuenta el clima (ya sea tropical, templado o árido), pues es muy importante ya que se construirá el invernadero o macro túnel para modificar y dar una ambiente favorable al cultivo. (6,7)

Radiación solar.

Es la cantidad de energía proveniente del sol que en forma de ondas electromagnéticas llega a la tierra. Gracias a esta energía se llevan a cabo los procesos más importantes como la evaporación del agua de los mares y ríos, y consecuencia la condensación de las nubes, lo que produce precipitación, además de los movimientos de las grandes masas de aire (vientos). También esta energía dependen la Fotosíntesis y el Fotoperiodo de las plantas. (6,7)

La radiación solar produce dos tipos de procesos principales: los procesos energéticos (Fotosíntesis); y los procesos morfogénicos La radiación solar es aprovechada por las plantas para realizar la Fotosíntesis. La Fotosíntesis es transformación de energía radiante en energía química mediante la asimilación del carbono del CO<sub>2</sub> del aire y su fijación en compuestos orgánicos carbonados. (24)

De la radiación global incidente sobre la superficie vegetal sólo una proporción es aprovechable para la realización de la Fotosíntesis: RFA (Radiación Fotosintéticamente Activa). La respuesta de las plantas es diferente en función de las diferentes longitudes de onda. La clorofila es el principal pigmento que absorbe la luz, otros pigmentos accesorios son el b -caroteno, compuesto isoprenoide rojo que es el precursor de la vitamina A en los animales y la xantofila, carotenoide amarillo. (24)

La Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) es aproximadamente el 50% de la radiación solar de onda corta y las hojas absorben alrededor del 90% de la radiación RFA. Por lo tanto se absorben 0.45J de RFA por cada J de radiación incidente: (Villalobos 2009)

$$1\text{J} \times 0.50 \times 0.90 = 0.45\text{J de RFA}$$

Esencialmente toda la luz visible es capaz de promover la Fotosíntesis, pero las regiones de 400 a 500 y de 600 a 700 nm son las más eficaces. Así la clorofila pura, tiene una absorción muy débil entre 500 y 600 nm, los pigmentos accesorios complementan la absorción de la luz en esta región, suplementando a las clorofilas. (24)

- 620-700 nm (rojo): una de las bandas de mayor absorción de la clorofila.
- 510-620 nm (naranja, amarillo –verde-); de débil actividad Fotosintética
- 380-510 nm (violeta, azul y verde): es la zona más energética, de intensos efectos formativos. De fuerte absorción por la clorofila.
- < 380 nm (ultravioleta). Efectos germicidas e incluso letales < 260 nm.

En cuanto a los procesos morfogénicos la Fotomorfogénesis hace referencia a la influencia de la luz sobre el desarrollo de la estructura de las plantas. Según la adaptación a las condiciones de iluminación las plantas se clasifican en: 1) heliófilas: caracterizadas por hojas pequeñas estrechas y rizadas; 2) umbrófilas: caracterizadas por poseer hojas amplias anchas y poco espesas; y 3) indiferentes: se acomodan tanto a zonas de sombra como a la luz. (24)

La luz también es responsable de muchos movimientos o tropismos. Como regla general el tallo se dirige hacia la fuente de luz, la raíz lo hace alejándose de la fuente de luz, y la hoja adopta una posición en la que su parte ancha queda perpendicular a los rayos solares. Cualquier movimiento como respuesta a un estímulo luminoso se conoce como Fototropismo. (24)

Otro concepto importante es el de Fotoperiodo (conjunto de fenómenos determinados por la duración del período de luz). Desde hace tiempo se conoce que la iniciación de la floración en muchas plantas depende de la longitud del día. Las plantas que requieren un período de luz largo para iniciar la floración superior a 14 horas se denominan de día largo (La espinaca, algunas variedades de patata, algunas variedades de trigo, los gladiolos, los lirios, la lechuga y el beleño (*Hyoscyamus niger*)), y las que precisan de 8 a 10 horas para florecer se llaman de día corto (crisantemos, las dalias, algunas compuestas, las judías, las fresas). Las Plantas de día neutro florecen sea cual sea la longitud del día. Ejemplos son el pepino, el girasol, el tabaco, el arroz, el maíz y el guisante.(24)

Las plantas tienen unas necesidades de iluminación según su naturaleza y estado de desarrollo. (24)

Cuando la luz no es suficiente para un desarrollo normal las plantas tienden al ahilamiento (tallos se hacen altos y delgados) y presentar clorosis y malformación de

hojas. En el caso de cultivos de raíces y tubérculos tiende a producir una disminución del rendimiento y de la calidad; también influye en una disminución del aroma y dulzura de los frutos. Por otro lado, una iluminación excesiva favorece el desarrollo de ramas. En cuanto a la germinación, es más rápida en la oscuridad que a la luz, excepto en algunas semillas de pequeño tamaño como las gramíneas para forraje. (24)

A continuación en el cuadro 8 se muestra la calidad y efecto de la radiación solar sobre las plantas.

**Cuadro 8 Calidad y efecto de la radiación solar sobre las plantas**

Banda	Longitud de onda $\lambda$		Frecuencia (v) ondas x segundo	Sensibilidad espectral del ojo humano (%)	Efectos sobre las plantas
	(cm)	(Å)			
UV-A	$2.8 \times 10^{-5}$	2800	$1.1 \times 10^{-15}$	Invisible	Deterioro
UV-B	$3.2 \times 10^{-5}$	3200	$9.4 \times 10^{-14}$	Invisible	Deterioro
Violeta	$3.7 \times 10^{-5}$	3700	$8.1 \times 10^{-14}$		Deterioro
	$4.4 \times 10^{-5}$	4400	$6.8 \times 10^{-14}$	1	Fototropismos
Azul	$4.4 \times 10^{-5}$	4400	$6.8 \times 10^{-14}$	1	Cambios de viscosidad protoplasmática
	$5.0 \times 10^{-5}$	5000	$6.0 \times 10^{-14}$	21	Asimilación de CO <sup>2</sup>
Verde	$5.0 \times 10^{-5}$	5000	$6.0 \times 10^{-14}$	21	Asimilación de CO <sup>2</sup>
	$5.5 \times 10^{-5}$	5500	$5.5 \times 10^{-14}$	67	Asimilación de CO <sup>2</sup>
Amarilla	$5.5 \times 10^{-5}$	5500	$5.5 \times 10^{-14}$	67	Asimilación de CO <sup>2</sup>
	$5.7 \times 10^{-5}$	5700	$5.3 \times 10^{-14}$	98	Incremento en vigor, tamaño y calidad de los frutos
	$5.9 \times 10^{-5}$	5900	$5.1 \times 10^{-14}$	81	
Anaranjada	$6.0 \times 10^{-5}$	6000	$5.0 \times 10^{-14}$	57	Asimilación de CO <sup>2</sup>
	$6.3 \times 10^{-5}$	6300	$4.8 \times 10^{-14}$	44	Germinación de semillas y crecimiento de plantas y brotes
Roja	$6.3 \times 10^{-5}$	6300	$4.8 \times 10^{-14}$	44	Germinación de semillas
	$7.6 \times 10^{-5}$	7600	$3.9 \times 10^{-14}$	8	Asimilación de CO <sup>2</sup>
IR-A	$1.4 \times 10^{-4}$	14000	$2.1 \times 10^{-14}$	Invisible	Temperatura
IR-B	$3.0 \times 10^{-4}$	30000	$1.0 \times 10^{-14}$	Invisible	Temperatura

Fuente: Cárdenas 2010

Para el caso de la FES-CUAUTITLAN se tiene que la cantidad de radiación solar crítica se encuentra en el mes de mayo tal como se observa en el cuadro 9

**Cuadro 9 Comportamiento medio de la radiación solar en la estación UNAM-ALMARAZ periodo 1987-2002**

Mes	Insolación. Hrs	Duración del día hrs	RS. Cal /cm <sup>2</sup> /día	RS Watt/M <sup>2</sup> /H	ERP MJ/M <sup>2</sup> /H	EAFMJ RFA
Enero	8.54	11.09	406.43	552.46	1.98	0.89
Febrero	9.04	11.51	472.76	607.07	2.18	0.98
Marzo	9.2	12.01	529.23	667.77	2.40	1.08
Abril	8.71	12.59	522.84	696.82	2.50	1.12
Mayo	9.01	13.05	534.45	688.58	2.47	1.11
Junio	7.72	13.3	503.09	756.48	2.72	1.22
Julio	7.28	13.2	504.47	804.40	2.89	1.30
Agosto	7.49	12.8	493.43	764.74	2.75	1.23
Septiembre	6	12.26	436.7	844.89	3.04	1.36
Octubre	6.8	11.71	407.96	696.43	2.50	1.12
Noviembre	8.05	11.22	398.54	574.71	2.06	0.93
Diciembre	8.46	10.96	387.83	532.16	1.91	0.86
<b>Total</b>	<b>96.3</b>	<b>145.7</b>	<b>5597.73</b>	<b>8186.51</b>	<b>29.47</b>	<b>13.26</b>
<b>Promedio</b>	<b>8.02</b>	<b>12.14</b>	<b>466.47</b>	<b>682.21</b>	<b>2.46</b>	<b>1.11</b>

Fuente: Mercado Mancera Gustavo.

ERP: Energía recibida por la planta. MJ/M<sup>2</sup>/H

EAFM: Energía aprovechable para la Fotosíntesis. En MJ/M<sup>2</sup>/H

#### Calidad de la luz.

Se refiere a la radiación Fotosintéticamente activa que es la calidad de la radiación integrada por el rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad Fotosintética en la planta. Este rango es el comprendido aproximadamente entre los 400 y los 700 nanómetros y se corresponde, también aproximadamente, con el espectro visible. (6,7)

Esta faja esta limitada por la región ultravioleta, de onda mas corta, y por la región infrarroja de ondas mas largas. (6,7)

El hecho de considerar a la calidad de la luz como un factor importante en el diseño de un invernadero o túnel radica en la relación planta-luz, en el proceso de selección de la cubierta para un techo, podemos permitir el paso de las bandas electromagnéticas que más se ajuste a las condiciones de la planta o cultivo. (6,7)

Cantidad de radiación.

Es la cantidad diaria de calor recibida por  $\text{cm}^2$  en un suelo horizontal, la cual varía según la época del año, esto debido a que los rayos solares llegan a la superficie terrestre con distinta inclinación, según la época del año, también la duración del día es diferente según la época del año y además los días son más largos cuando los rayos solares son más perpendiculares. Estos tres fenómenos se presentan debido a que el eje de rotación de la tierra forma un ángulo de  $23^{\circ}27'$  con la perpendicular. La máxima cantidad de radiación solar en nuestro país se ha registrado en el mes de junio alcanzado hasta  $725 \text{ calorías}/\text{cm}^2/\text{día}$  en los estados de Chihuahua y Sonora. La mínima se tiene en el mes de enero cuando solo sobrepasan las  $300 \text{ calorías}/\text{cm}^2/\text{día}$ . En la zona de estudio que es la fca Cuautitlán el promedio anual de la cantidad de radiación solar es de  $466.47 \text{ calorías}/\text{cm}^2/\text{día}$  (6,7)

Intensidad luminosa.

Es la cantidad de luz que entra al invernadero o al macro túnel, y esta determinada por la duración del día, la nubosidad, y la forma de la estructura. La posición y orientación también influyen pues se deben evitar los sitios que tienen sombra. Hay que tomar en cuenta que a mayor latitud existe menor cantidad de horas luz en el año y que los rayos de esta llegan con mayor inclinación. (6,7)

Además los techos de forma cilíndrica o parabólica y semielípticas captan mejor la luz que los de tipo capilla y mientras más alta sea la estructura mejor en la captación de luz, además para tener una mayor luminosidad conviene hacer estructuras con poste delgados y con el menor número posible de ellos, para que no proyecten sombra. (6,7)

Temperatura.

La temperatura es uno de los factores más importantes a considerar en el diseño de invernaderos y macro túneles, debido a que al delimitar un espacio con las cubiertas plásticas, creamos un ambiente cerrado, en cual entra luz. Esta luz queda atrapada y los rayos calóricos calientan el aire del interior, ocasionando altas temperaturas, que por consecuencia elevan la evaporación del agua del suelo y la respiración de las plantas, aumentando la humedad relativa del espacio cerrado. Por eso el desarrollo de ambientes debe de estar relacionado íntimamente con el diseño de

estructuras, ya que de la forma de éstas depende el intercambio del aire en el exterior e interior de tal manera que la temperatura se la adecuada. Además de que la temperatura también influye en las funciones vitales del cultivo como: transpiración, Fotosíntesis, germinación, crecimiento, floración y fructificación. (6,7)

Las temperaturas máximas y mínimas que soportan las mayoría de los cultivos están comprendidas entre 0° y 40° C fuera de estos límites casi todos los cultivos mueren o quedan en estado de vida latente (cuando la planta detiene su desarrollo vegetativo). (6,7)

Precipitación.

Es necesario tener en cuenta la precipitación para diseñar la forma del techo para que desaloje bien el agua de lluvia, y no colapse la estructura. Pero también se pueden implementar canalones para la cosecha de lluvia (6,7)

Vientos.

El viento presenta tres características: velocidad, dirección y frecuencia. La velocidad es importante por la presión dinámica que ejerce el aire sobre la construcción y los efectos que pueden provocar estas. La dirección es una característica que es necesario considerar porque de esta depende el impacto del viento sobre las paredes de la construcción y a su vez el ingreso del aire al interior del invernadero o túnel. Por eso durante el proceso de diseño el efecto de estas características hay que tomar en cuenta, para seleccionar los materiales, el sistema de armado y anclaje. (6,7)

Humedad dentro de la cubierta.

La humedad relativa es una relación entre el peso de la mezcla del aire y la cantidad total de agua, que puede ser retenida por unidad de volumen a una temperatura específica y a una presión determinada. Esto es importante porque la humedad interviene en la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en la fecundación de las flores y en el desarrollo de enfermedades, que es un grave problema dentro de los macro túneles e invernaderos. (6,7)

### 3.5.3 Factores técnicos.

Se entiende por factores técnicos a la infraestructura y servicios con que cuenta el lugar de implementación

- Vías de comunicación: el lugar tiene que ser de fácil acceso para el abasto de insumos y la salida de los productos.
- Fuentes de energía: la energía eléctrica es indispensable para la operación de los equipos y sistemas auxiliares.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Disponibilidad de agua: es muy importante contar con agua en cantidad y en calidad, ya que es indispensable para el riego.
- Especie a cultivar: este es el más importante porque todos los requerimientos para el desarrollo adecuado de la planta deben de ser tomados en cuenta para determinar el largo, ancho, altura, porcentaje de superficie a ventilar, cantidad e luz que se va dejar pasar, la forma del techo, la colocación de la estructura, el sistema de riego, las mallas auxiliares para el control de la excesiva radiación solar y los sistemas de cultivo como: macetas, camas, columnas de cultivo, sistemas hidropónicos y sistemas de tutorado.
- Disponibilidad de materiales: son los materiales de construcción que tienen a la mano para poder realizar el proyecto.

Y para elegir el lugar donde construir el macrotúnel debemos tomar en cuenta lo siguiente:(14)

- Exposición al sol y duración del Fotoperiodo.
- La velocidad del viento y ver de donde provienen los vientos predominantes, debemos lograr la exposición mínima.
- Suelo con profundidad efectiva apta para producción de plántones.
- Área libre de anegamientos (inundaciones) estacionales o permanentes.
- Accesibilidad vehicular.

- Cercanía de la fuente de agua y energía eléctrica, en caso de que no se encuentre cerca tomar en cuenta otro tipo de energía alternativa y ver métodos de cosecha de agua ( la energía eléctrica solo es para el caso de los invernaderos pero en caso de agua es fuente indispensable para todo tipo de cubierta y cultivo)

### **3.6 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MACROTÚNEL.**

El diseño estructural del macrotúnel es parte fundamental en todo invernadero. La estructura es la encargada de dar soporte al macrotúnel y a los elementos que de ellos dependen. Por lo que es necesario considerar los diferentes tipos de cargas que actúan sobre la estructura.

Los tipos de cargas que se consideran en el diseño de estructuras son:

- Cargas muertas.
- Cargas vivas.
- Cargas meteorológicas: son las cargas por viento, lluvia, granizo, nieve y hielo. (4,6)

#### **3.6.1 Cargas muertas.**

Se llama carga muerta al conjunto de acciones que se producen por el peso propio de la construcción; incluye el peso de la estructura misma y de los elementos no estructurales, como los muros divisorios, estructura de acero, muros, cubierta del techo, instalaciones mecánicas y eléctricas. (4,6,7)

#### **3.6.2 Cargas vivas.**

La carga viva es la que se debe a la operación y uso de la construcción. Incluye, por tanto, todo aquello que no tiene una posición fija y definitiva dentro de la misma y no puede considerarse como carga muerta. En invernaderos se consideran como cargas vivas la fuerza que ejerce en tutorado de algunos cultivos, así como cualquier equipo que se instale temporalmente. Se reporta que la carga que ejerce el tutorado tiene un valor comprendido entre los 14y 16 kg/m<sup>2</sup> este valor es útil para fines de diseño. (4,6,7)

#### **3.6.3 Cargas meteorológicas.**

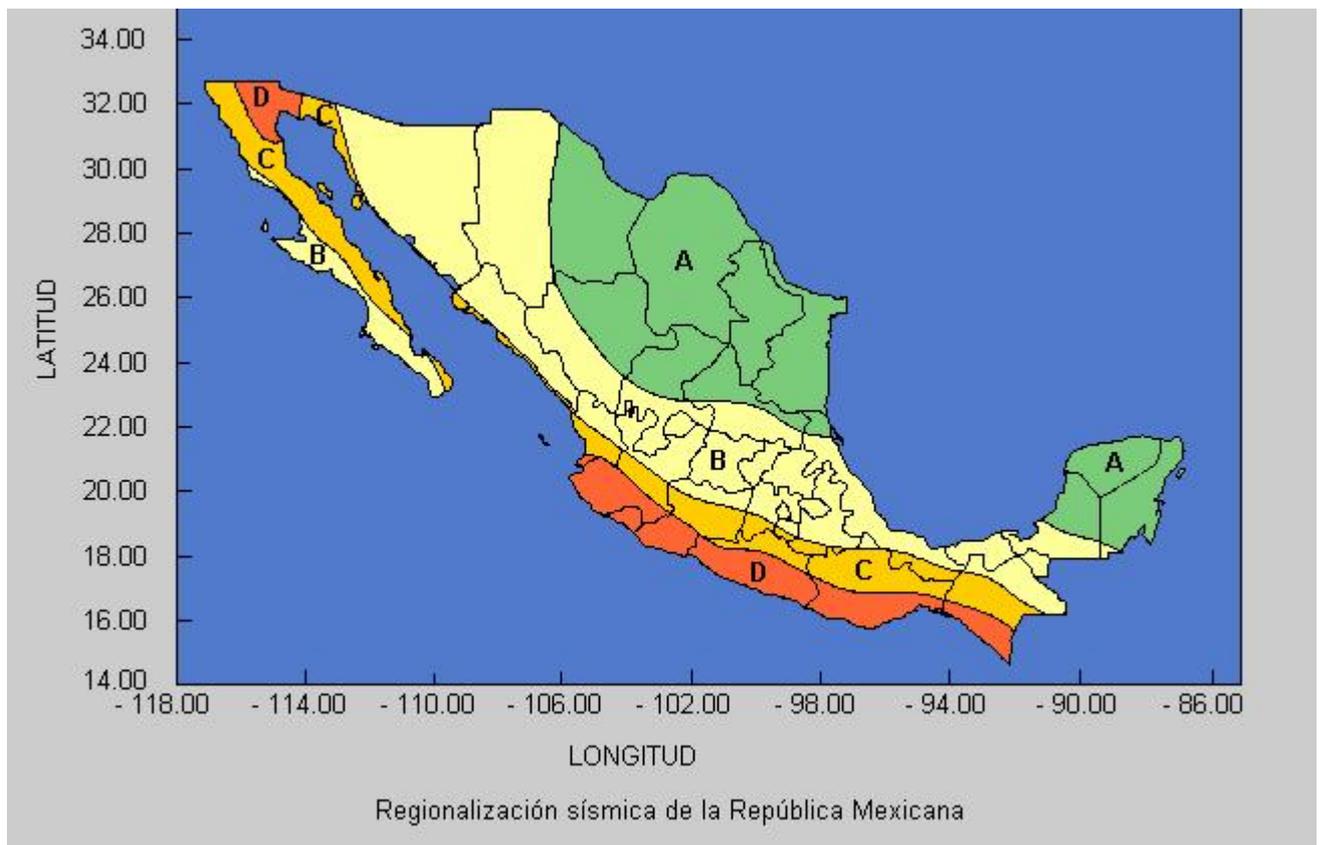
Son todas las cargas temporales ejercidas por la nieve, el viento, la lluvia y el granizo. (4,6,7)

### 3.6.4 Cargas por sismo.

Las cargas por sismos son consideradas en el diseño de cimentación. Los sismos pueden ser trepidatorios y oscilatorios, siendo los segundos los más peligrosos, ya que además de aumentar las compresiones, producen empujes horizontales que causan esfuerzos de tensión, mientras que los primeros, solo actúan esfuerzos de compresión en los apoyos. La importancia de los empujes horizontales es una función del peso de la estructura y el grado de intensidad del mismo. (4,6,7,10)

En la República Mexicana se encuentra dividida en 4 zonas sísmicas, estas zonas son el reflejo de que tan frecuente son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo. En la figura 7 se muestra el mapa de las regiones sísmicas de México (4, 6, 7,10)

**Figura 7 Regiones sísmicas de México.**



Fuente: Norma Mexicana NMX-E-255-CNCP-2008 "Diseño y Construcción de Invernaderos"

La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones. (4, 6, 7,10)

### 3.6.5 Cargas por viento.

Señala que la presión del viento sobre la superficie del techo depende su velocidad, dirección, orientación y pendiente de la superficie del techo. Se supone que el movimiento del viento es horizontal y que la presión del mismo contra una superficie plana normal a su dirección esta dada por la fórmula: (4, 6, 7,11)

$$PH=0.0075 V^2$$

PH= presión sobre una superficie plana y normal a la dirección del viento, en  $\text{kg/m}^2$

V= velocidad del viento en km/h

La velocidad del viento en el diseño se toma como el máximo valor de la velocidad registrado en la región.

Para calcular la presión del viento sobre superficies inclinada se usa la siguiente formula:

$$PH=2P_n \text{Sen}A / (1+\text{sen}^2a)$$

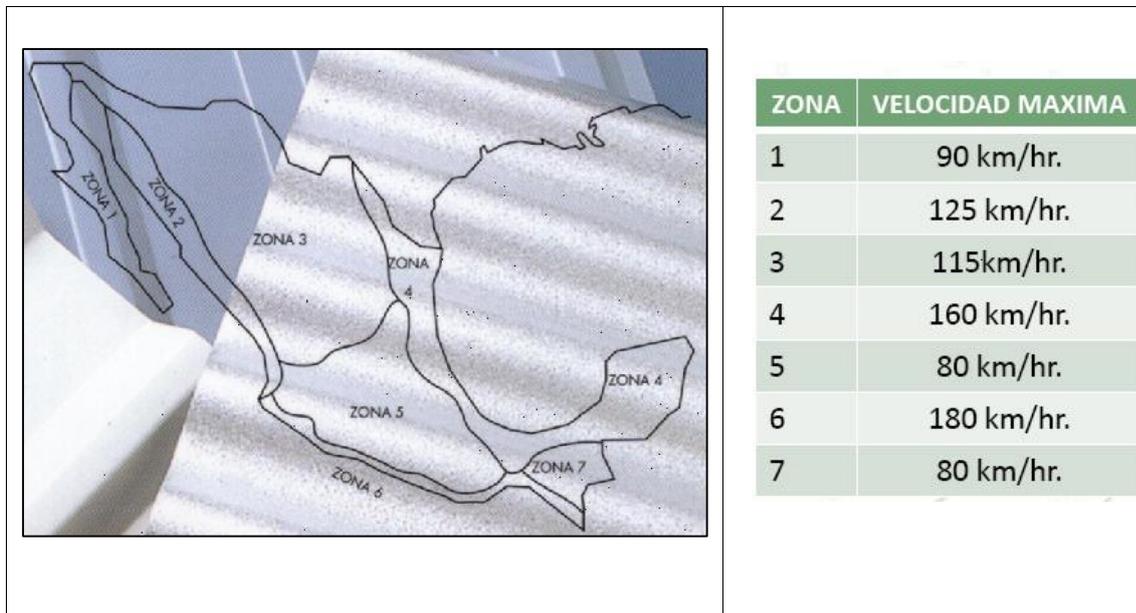
$P_n$ =presión normal del viento, en  $\text{kg/m}^2$

PH=presión del viento sobre un superficie vertical, o sea presión horizontal en  $\text{kg/m}^2$

A=Angulo de inclinación del techo(o superficie) sobre el plano horizontal en grados.

En el cuadro 10 se muestra las regiones eólicas de México.

### Cuadro 10 Regiones eólicas de México.



Fuente: Norma Mexicana NMX-E-255-CNCP-2008 "Diseño y Construcción de Invernaderos"

#### 3.6.6 Cargas por granizo.

En México el problema más presentado es el peso y el impacto del granizo, esto produce un efecto similar a la nieve al depositarse. En general, las cantidades de granizo no suelen ser de cuidado en una lluvia del mismo, además, el granizo se desliza y para considerar sus efectos más desfavorables, conviene saber que tiene a depositarse en las depresiones formadas entre los techos de invernaderos conectados. (4,6,7)

Los valores de carga por granizo deben estimarse tomando como base 30 kg/m en canalón. Lo cual es tomado de la norma mexicana NMX-E-255-CNCP-2008 invernaderos diseño y construcción-especificaciones. (4,6,7,10)

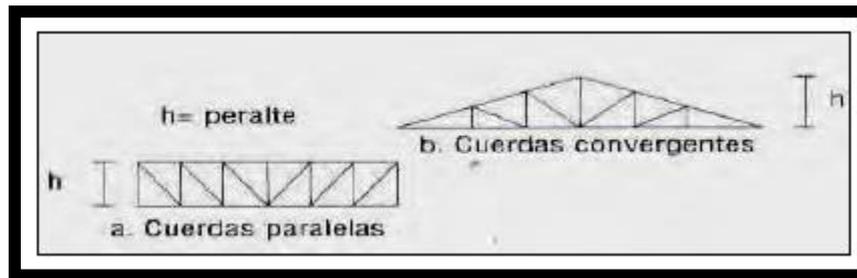
#### 3.6.7 Armaduras.

Es el principal tipo de estructura que se usa en ingeniería, la cual proporciona una solución práctica y económica. (3,4,6,7,10)

Son elementos formados por un conjunto de barras articuladas en sus extremos y unidas de tal manera que se forma un conjunto de triangulo prácticamente indeformable las cargas exteriores aplicadas en sus juntas producen solamente esfuerzos directos (axiales) en dichas barras. (3,4,6,7,10)

Las armaduras sencillas substituyen a las vigas cuando las largas y los claros demasiados considerables para permitir el empleo económico de las secciones corrientes de vigas. Otra ventaja de las armaduras, es que sus piezas se pueden unir entre si de tal manera que se pueden ajustar a la forma de cualquier techo, así como se muestra en la figura 8

**Figura 8: Tipos de armaduras según su forma.**



Fuente: Cárdenas 2010

En el caso de invernaderos, la carga de la cubierta se apoya sobre los largueros, que estos transmiten la carga a las armaduras en sus articulaciones o nudos. (3, 4, 6, 7,10)

### 3.6.8 Características del procedimiento de cálculo de la estructura.

La consideración básica a tomar en cuenta para diseñar estructuras de fierro o acero, es definir los aspectos fundamentales que se tomen en cuenta para el diseño de cada elemento estructural. Para el diseño de toda estructura, el análisis de carga que actúa sobre ella, es de la forma siguiente:

Cubierta+ estructura de cubierta+ largueros+ armaduras+ columnas+ cimientos.

Cubierta: las cargas ejercidas sobre la cubierta son:

- Peso de la propia cubierta que es obtenida mediante la densidad del material.
- Cargas por viento: la carga por viento esta determinada por la formula  $pH=2Pn\text{Sen}A/(1+\text{sen}^2a)$  mediante la cual se puede calcular la presión normal ejercida por el viento sobre superficies inclinadas.

Carga por granizo: como se menciona anteriormente la carga por granizo debe estimarse tomando como base 30 kg/m lineal en un canalón según la norma NMX-E-255-CNPC-2008. (3, 4, 6, 7,10)

Largueros: las cargas que actúan sobre los largueros son:

- Peso propio de la cubierta.
- Carga por viento.
- Carga por granizo.
- Estructura de la cubierta.

La carga ejercida sobre la estructura de la cubierta, puede determinarse mediante las especificaciones de peso por unidad de longitud de los diferentes materiales de fierro y acero que usan en la construcción. (3,4,6,7,10)

Las características físicas de los materiales de acero más comúnmente usados en la construcción de estructuras se encuentran o son dados a conocer por las compañías dedicadas a la industria del acero en sus manuales de especificaciones mecánicas y físicas. Estos datos del material para construcción, son necesarios para facilitar el diseño de la estructura. (3,4,6,7,10)

Armaduras: la separación entre armaduras es generalmente 0.5 veces la separación entre columnas (o ancho del invernadero o túnel). La determinación de esfuerzos en una armadura cualquiera, esta regida en los principios de equilibrio estático. La armadura en conjunto debe quedar en equilibrio bajo la acción de las cargas que sobre ellas actúan. También debe de permanecer en equilibrio bajo la acción de las fuerzas exteriores, aplicadas en los extremos de las piezas, una parte cualquiera de la armadura tomada por separado del resto y considerada como cuerpo libre. (3,4,6,7,10)

Las 3 ecuaciones fundamentales del equilibrio que deben verificarse son:

- Suma de todas las componentes horizontales de todas la fuerzas, igual a cero.
- Suma de todas las componentes verticales de todas la fuerzas igual a cero.
- Suma de los momentos de todas las fuerzas con relación a un punto cualquiera igual a cero.

Las dos primeras ecuaciones de equilibrio estático, comprenden la descomposición de fuerzas y se pueden resolver algebraicamente, la tercera ecuación comprende los momentos de las fuerzas, tanto exteriores como interiores y también puede resolverse algebraicamente y por gráficos. (3,4,6,7,10)

Las cargas totales que obran sobre la armadura y descansan en sus articulaciones o nudos son los siguientes:

- Cargas que actúan sobre el larguero del techo.
- Peso propio del larguero del techo.

Es necesario conocer las fuerzas internas (más exactamente los esfuerzos internos) que intentaran romperla y deformarla, posteriormente comparar estos resultados con la resistencia y rigidez propias del material que se empleara. (3, 4, 6, 7,10)

La resistencia de los materiales tiene dos partes bien diferenciadas: la parte teórica que analiza el diagrama de cuerpo libre, establecido sus condiciones de equilibrio y aplicar los determinados modelos matemáticos determinan las fuerzas internas y los esfuerzos actuantes sobre los elementos; y una parte experimenta que mediante ensayos de probetas de material determina la resistencia y rigidez de los mismos, entre otras características y que son las que permitirán al elemento oponerse a la ruptura y las deformaciones causadas por los esfuerzos actuantes. (3,4,6,7,10)

### 3.6.9 Esfuerzo.

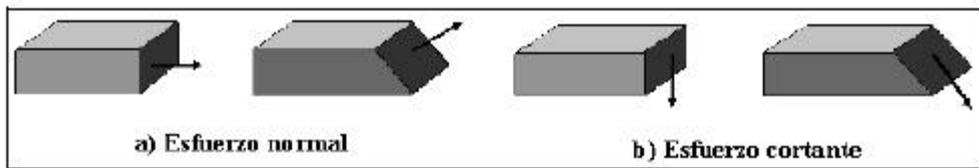
Esfuerzo es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que esta hecho un miembro para una carga aplicada externa.

$$\text{Esfuerzo} = \text{fuerza} / \text{área}$$

$$\sigma = F / A$$

Dependiendo de que la fuerza interna actúe perpendicularmente o paralelamente al área del elemento considerado, los esfuerzos pueden ser normales (fuerza perpendicular al área) cortantes (tangenciales, debido a una fuerza paralela al área) como se muestra en la siguiente figura 9:

**Figura 9: Tipos de esfuerzos.**

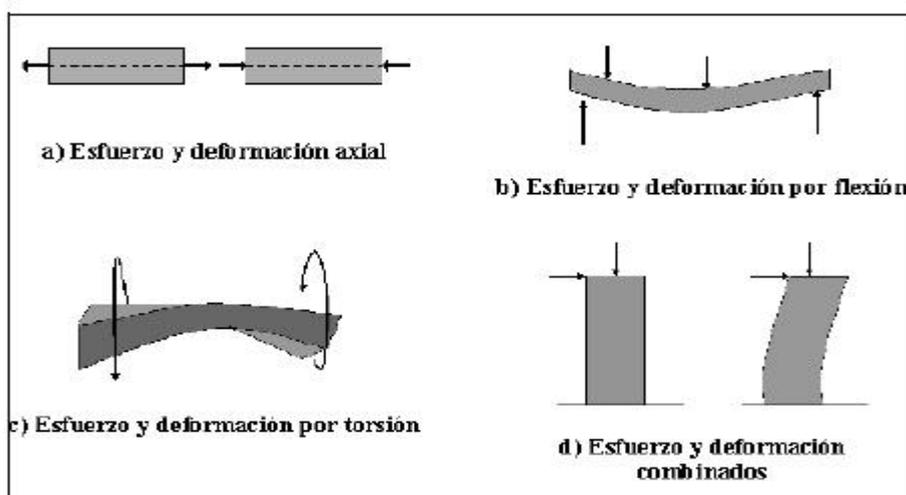


Fuente: Cárdenas 2010

En algunos casos como en el esfuerzo normal directo, la fuerza aplicada se reparte uniformemente en la totalidad de la sección transversal del miembro; en estos casos el esfuerzo puede calcularse con la simple división de la fuerza total por el área de la parte que resiste la fuerza y el nivel del esfuerzo será el mismo en un punto cualquiera de una sección transversal, en otros casos, como en el esfuerzo debido a la flexión, el esfuerzo variara en los distintos lugares de la misma sección transversal, entonces el nivel de esfuerzo se considera en su punto. (3, 4, 6, 7, 10)

Dependiendo de la forma como actúen las fuerzas externas, los esfuerzos y deformaciones producidos pueden ser axiales(a) por flexión (b), por torsión (c) o combinados (d) como se muestra en la figura 10:

**Figura 10: Tipos de esfuerzos y deformaciones.**

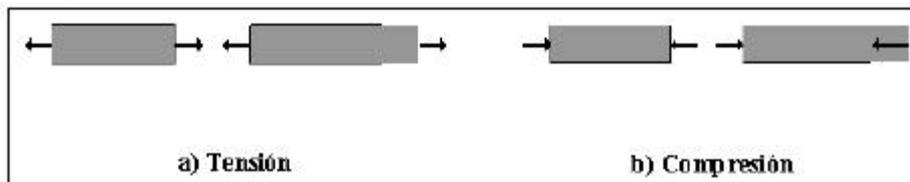


Fuente: Cárdenas 2010

### 3.6.10 Esfuerzos normales axiales.

Esfuerzos normales son aquellos debidos a fuerzas perpendiculares a la sección transversal. Esfuerzos axiales, son aquellos debidos a fuerzas que actúan a lo largo del eje del elemento. Los esfuerzos normales axiales por lo general ocurren en elementos como cables, barra o columnas sometidas a fuerzas axiales (que actúan a lo largo de su propio eje) los cuales pueden ser de tensión o de compresión. Además de tener resistencia, los materiales deben tener rigidez, es decir tener capacidad de oponerse a las deformaciones puesto que una estructura demasiado deformable puede llegar a ver comprometida su funcionalidad y obviamente su estética. En el caso de fuerzas axiales de tensión o compresión, se producirán en el elemento alargamientos o acortamientos respectivamente. (3, 4, 6, 7,10)

**Figura 11: Deformación debido a los esfuerzos normales axiales.**



Fuente: cárdenas 2010

### 3.6.11 Esfuerzo cortante.

Las fuerzas aplicadas a un elemento pueden inducir un efecto de deslizamiento de una parte del mismo con respecto a otra. En este caso, sobre el área de deslizamiento se produce un esfuerzo cortante o tangencial. Análogamente a lo que sucede con el esfuerzo normal, el esfuerzo cortante se define como la relación entre la fuerza y el área a través de la cual se produce el deslizamiento, donde la fuerza es paralela al área, el esfuerzo cortante se calcula: (3,4,6,7,10)

$$\tau = F / A$$

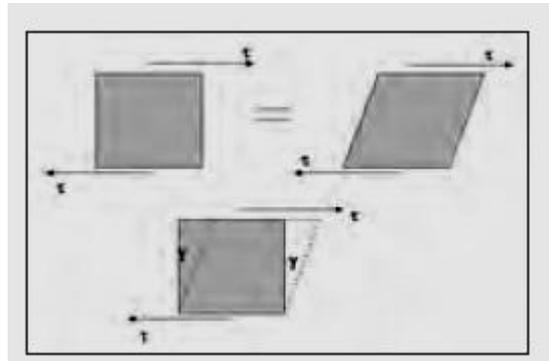
$\tau$ : es el esfuerzo cortante

F: es la fuerza que produce el esfuerzo cortante

A: es el área sometida a esfuerzo cortante

Las deformaciones debidas a los esfuerzos cortantes, no son ni alargamientos ni acortamientos, si no deformaciones angulares. (3, 4, 6, 7,10)

**Figura 12 Deformación debida a los esfuerzos cortantes.**



Fuente: Cárdenas 2010

#### 4 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

En el presente proyecto se describe detalladamente como se realizó la investigación, incluyendo el sistema de riego, el sistema de conducción y los cálculos de fertilización del cultivo que se estableció en campo, con la finalidad de que sirva como ejemplo, para replicarlo en otro lugar.

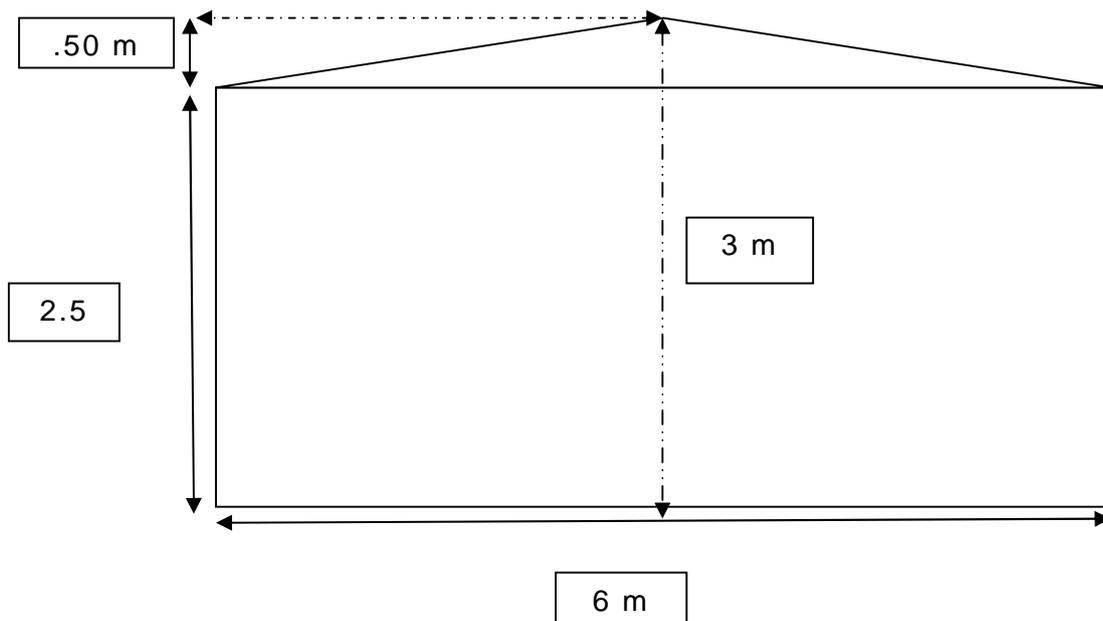
Otras actividades son: la elección del lugar de implementación, la construcción, cálculos de costos de las actividades para el desarrollo del cultivo, el diseño del sistema de riego, el cálculo de la fertilización necesaria.

#### 5 RESULTADOS

##### 5.1 Cálculos de la estructura.

Se van tomar en cuenta todas las cargas que estarán actuando sobre la estructura del macrotúnel que son las cargas del peso propio de la estructura, peso del plástico, carga por viento, carga por granizo y por sismo. En la estimación, aunque existen cargas que deben considerarse como permanentes, variables, y accidentales, todas estas deben sumarse en total e incluirse todas juntas en la capacidad que la estructura soportara de forma permanente, por lo tanto deben de estar contempladas desde un principio. A continuación se hace la estimación de las distintas cargas que soportara el macrotúnel.

**Figura 13: Dimensiones del macro túnel vista delantera.**



Elaborado: Zúñiga Morales Henry

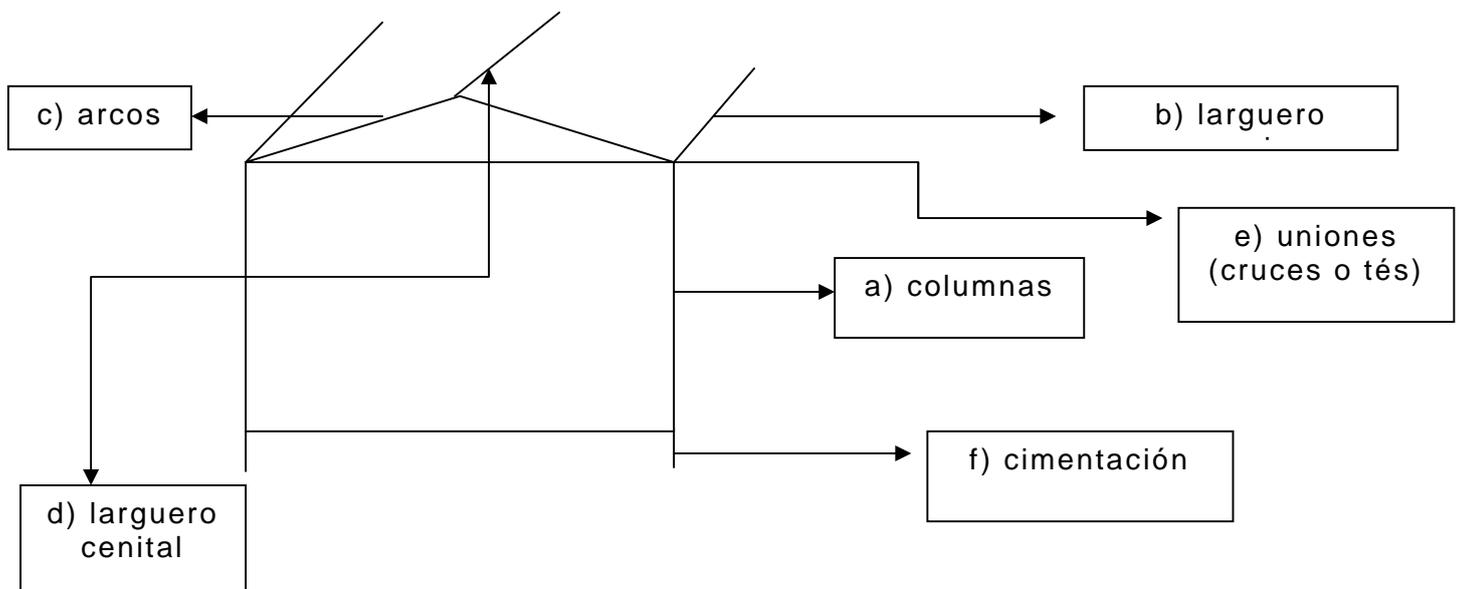
### 5.1.1 Peso de la estructura.

Se considera el tipo de material usado calibre y longitud, es necesario hacer un estimación del peso aproximado que tendrá cada elemento, y se debe considerar de que manera esta compuesto la estructura como es: columnas, larguero cenital, larguero superior, uniones (cruces y tés) y cimentación tal como se muestra en la figura 3. En este caso material utilizado es: tubo de ced 30 de 1" y 3/4", soleras de 1"x 1/8". A continuación se muestra el cuadro 11 de estimación del peso de la armadura:

**Cuadro 11 Estimaciones del peso de la armadura**

ELEMENTO	MATERIAL	# DE PZA	LONG. M	KG/M	TOTAL kg
a) columnas	tubo de 1" ced 30	16	3	1.5	72
b) larguero superior	tubo de 1" ced 30	14	3	1.5	63
c) arcos	tubo de 1" ced 30	8	3	1.5	36
d) larguero cenital	tubo de 1" ced 30	7	3	1.5	31.5
e) uniones(cruces o tés)	tubo de 3/4" ced 30	32	0.3	1.16	11.136
f) cimentación	solera de 1"x1/8"	40	0.3	0.5	6
					219.636

\*Nota: los datos corresponden a las especificaciones del catalogo de productos de Ferretería el Prado SA de CV



**Figura 14: Componentes del macrotúnel.**

### 5.1.2 Peso de la cubierta.

El peso de la cubierta se determina por el calibre del plástico a utilizarse, basándose en datos del fabricante, por lo tanto se utilizara un polietileno de calibre 80 galgas de  $19 \text{ gr/m}^2$ . La armadura soportara todo este peso ya que cubrirá toda la estructura con excepción de la parte frontal y lateral que quedaran descubiertos para la ventilación del túnel.

El cálculo se realiza de la siguiente manera: primero hay que obtener el área que cubrirá el plástico en los laterales del macrotúnel se obtiene de la siguiente manera:

Área de la columna izquierda \* el peso del plástico =  $21\text{m} * 2.5\text{m} * .19\text{kg/m}^2 = 9.97\text{kg}$

Área de la columna derecha \* el peso del plástico =  $21\text{m} * 2.5\text{m} * .19\text{kg/m}^2 = 9.97\text{kg}$

Luego hay que obtener el área del techo y el área se obtiene por medio del Teorema de Pitágoras

Área del techo \* el peso del plástico =  $c = a^2 + b^2 = 50\text{m}^2 + 3\text{m}^2 = 3.04 * 21\text{m de largo} = 63.86\text{m}^2$  lados =  $127.72 * .19\text{kg/m}^2 = 24.26 \text{ kg}$ .

Y por ultimo se sumas los resultados. Por lo tanto el peso de la cubierta es de 44.20 kg.

### 5.1.3 Carga por viento.

La carga que ejercerá el viento será determinada por las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento Del Distrito Federal (2008).

Primero hay que determinar la velocidad del viento V.

Los efectos estáticos del viento sobre la estructura o componente de la misma se determinan con base en la velocidad de diseño, dicha velocidad de diseño se obtendrá de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_D = F_{TR} F V_R$$

Donde.

$F_{TR}$ : factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante. (Sin unidades)

F : factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura. (Sin unidades)

$V_R$ : velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.( m/s). Para tomar estos valores se recurren a los siguientes cuadros:

**Cuadro 12 Factores de variación con la altura F**

z	F
$Z \leq 10 \text{ m}$	1.0
Si $10 \text{ m} < z >$	( z/10)
Si $z \geq$	( /10)

Fuente: Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento Del Distrito Federal (2008)

**Cuadro 13 Factor topográfico y rugosidad del terreno  $F_{TR}$**

Tipos de Topografía	Rugosidad del terreno en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de faldas de serranías del lado del sotavento	0.80	0.70	0.66
T2 Valles cerrados	0.90	0.79	0.74
T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes con pendientes menores del 5%(normal)	1.00	0.86	0.82
T4 Terrenos inclinados con pendiente entre 5 y 10%	1.10	0.97	0.90
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10%, cañadas o valles cerrados.	1.20	1.06	0.98

Fuente: Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento Del Distrito Federal (2008)

### Cuadro 14 Rugosidad del terreno.

Tipos de terrenos		, m
R1 Escasas o nulas obstrucciones al flujo del viento, como en campo abierto.	0.099	245
R2 Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	0.128	315
R3 Zona típica urbana y suburbana. El sitio esta rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por aéreas arboladas y no se cumplen las condiciones de del tipo R4	0.150	390
R4 Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio, tiene altura superior a 20 m	0.170	455

Fuente: Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento Del Distrito Federal (2008)

$F_{TR}$ : es 1 porque e sitio es campo abierto así mismo es un terreno tipo 3

$F$  : es 1 porque la altura del macro túnel es menor a 10m

$V_R$ : 22.22 m/s porque en la zona se tienen ráfagas de 80km/h.

$$VD = (22.22\text{m/s})(1)(1)=22.22 \text{ m/s}= 80\text{km/h}$$

#### Determinación de la presión de diseño.

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una construcción determinada  $P$  (presión) en  $\text{kg/m}^2$  se obtiene tomando en cuenta su forma y esta dada de manera general por la expresión:

$$P = 0.048 C_p V_D^2$$

Donde

$C_p$ : coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura. ( $\text{kg/m}^2$ )

$V_D$ : velocidad de diseño a la altura  $z$ , dada (sin unidades).

Con el propósito de analizar todas las caras del invernadero en donde golpea el viento se calculan los coeficientes de presión ( $C_p$ ) de acuerdo al cuadro 15:

### Cuadro 15 Coeficientes de presión ( $C_p$ )

	$C_p$
<b>Pared de barlovento</b>	0.8
<b>Pared de sotavento<sup>1</sup></b>	-0.4
<b>Paredes laterales</b>	-0.8
<b>Techos planos</b>	-0.8
<b>Techos inclinados lado del sotavento<sup>2</sup></b>	-0.7
<b>Techos inclinados lado del barlovento</b>	$-0.8 < 0.04 \quad -1.6 < 1.8$

Fuente: normas técnicas complementarias para diseño por viento del distrito federal (2008)

<sup>1</sup>La succión se considera constante en toda la altura de la pared de sotavento y se calculará para un nivel z igual a la altura media del edificio.

<sup>2</sup> Es el ángulo de inclinación del techo en grados.

Sustituyendo los valores para el calculo de la presión del viento en las columnas.

$$C_p \text{ barlovento} = .8$$

$$C_p \text{ sotavento} = -.5$$

$$\text{Cara de barlovento } P = 0.048 (.8)(22.22)^2 = 18.95 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Cara de sotavento } P = 0.048 (-.5)(22.22)^2 = -11.84 \text{ kg/m}^2$$

Presión para el techo:

Se sabe que la altura del macrutonel es menor de 20m y es por eso que se realiza el siguiente cálculo en base al cuadro 15:

$$C_p \text{ para techos inclinados lado del barlovento} = -0.8 < 0.04 \text{angulo del techo} - 1.6 < 1.8 = \text{en este caso se toma en cuenta } 1.8$$

$$C_p \text{ para techos inclinados lado del sotavento} = -.7$$

$$\text{Cara de barlovento } P = 0.048 (-.7)(22.22)^2 = -16.58 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Cara de sotavento } P = 0.048 (1.8)(22.22)^2 = 42.65 \text{ kg/m}^2$$

Presión interior de la cubierta.

En la construcción del macrutonel la cara frontal y la lateral no va a llevar cubierta plástica, por lo tanto ahí van hacer la entrada y salida del aire, por esta razón se requiere calcular la presión del viento que se va a ejercer adentro de la cubierta, esto se obtendrá de la siguiente manera: con los datos del cuadro 16 coeficientes de presión ( $C_p$ ) para presiones interiores y con las formulas a continuación escritas.

**Cuadro 16 coeficientes de presión ( $C_p$ ) para presiones interiores**

	$C_p$
Aberturas principalmente en la cara de barlovento	0.75
Aberturas principalmente en la cara de sotavento	-0.6
Aberturas principalmente en las caras paralelas a la dirección del viento	-0.5
Aberturas uniformes distribuidas en las cuatro caras	-0.3

Cuadro 9 coeficientes de presión ( $C_p$ ) para presiones interiores Fuente: normas técnicas complementarias para diseño por viento del distrito federal (2008)

$C_p =$  Aberturas principalmente en las caras paralelas a la dirección del viento  $= -0.5$

$P = 0.048 (-.5)(22.22)^2 = -11.84 \text{ kg/m}^2$

Para sacar la carga total de la presión del viento se necesita obtener el área de la cubierta por cada uno de sus componentes como se muestra a continuación:

Área del barlovento	<b>52.5m<sup>2</sup></b>
Área del sotavento	52.5m <sup>2</sup>
Área del techo	127.72m <sup>2</sup>

Habiendo obtenido las cargas o presiones de empuje que actúan en cada cara y sus respectivas aéreas, se procede de la siguiente forma multiplicando presión x área:

Pared lateral del barlovento  $= (18.95 \text{ kg/m}^2)( 52.5\text{m}^2) = 994.87\text{kg}$

Pared lateral del sotavento=  $(-11.84\text{kg/m}^2)(52.5\text{m}^2)=-621.6\text{kg}$

Techo barlovento=  $(42.65\text{kg/m}^2)(63.86\text{m}^2)=2723.62\text{kg}$

Techo sotavento=  $(-16.58\text{kg/m}^2)(63.86\text{m}^2)=-1058.79\text{kg}$

Presión interior=  $(-11.84\text{kg/m}^2)(126\text{m}^2)=-1491.84\text{kg}$

Carga total= $(994.87\text{kg})+(-621.6\text{kg})+(2723.62\text{kg})+(-1058.79\text{kg})+(-1491.84\text{kg})=546.26$   
kg de aire que se distribuirá en todo el macrotúnel.

#### **5.1.4 Carga por sismo.**

En las construcciones agropecuarias no se toma en cuenta el efecto (acción) del sismo, solo para el diseño en edificios mayores a 16 m en estructuras cuya altura sea mayor y en todos los lugares de reunión, bajo esta consideración el efecto por sismo no se usa para el diseño de cimentación de invernaderos, por lo anterior no se calcula la carga por sismo para el macrotúnel.

#### **5.1.5 Carga por granizo.**

El granizo se desliza en cubiertas curvas y tiende a depositarse en los canalones entre los techos de los invernaderos y macro túneles en batería, en este caso al ser un solo módulo no se consideran sus cargas sobre su estructura, puesto que no tiene dichos canalones y el granizo se deslizará por la cubierta.

#### **5.1.6 Fuerzas que actúan en la estructura.**

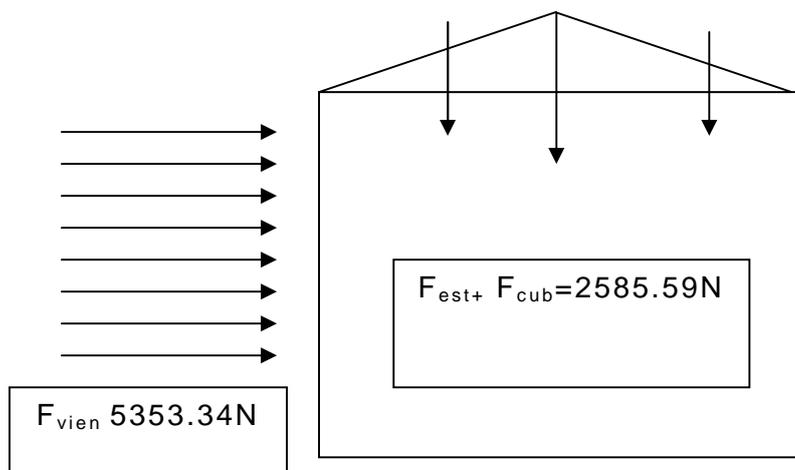
Una vez que se han determinado las cargas que soportará la estructura, se suman todos los valores para estimar totalmente la carga a la que será expuesta tanto la armadura como la estructura en general debe destacarse que al ocupar el kilogramo como unidad dimensional en todos los cálculos, se usa no como masa, si no como unidad de fuerza (peso), denominando al kilogramo fuerza (kgf) y es necesario transformarlos a Newton (N) de esta forma se multiplican todos los valores obtenidos por la gravedad (9.80665) obteniendo así las fuerzas que actúan en el macrotúnel.

**Cuadro 17 Sumatoria de las cargas.**

Carga vertical	(-)Esfuerzo normal	Carga horizontal	( + ) Esfuerzo cortante y flexión
Peso de la estructura $F_{est}$	219.636 kgf 2152.43 N	Carga por viento $F_{vien}$	546.26 kgf 5353.34N
Peso de la cubierta $F_{cub}$	44.20 kgf 433.16N		
<b>Carga total.</b>	263.83kgf		546.26 kgf
<b>Fuerza total</b>	2585.59N		5353.34N

De acuerdo con el cuadro 17 es necesario que se conozca la manera en las que las fuerzas actuaran en la estructura del macrotúnel: por viento de forma horizontal, por estructura y cubierta en forma vertical en la figura 15 que se muestra a continuación se observa una fuerza vertical total de **2585.59N**, que esta distribuida uniformemente en toda la armadura provocando esfuerzo de compresión principalmente, aplicado a las columnas. También se presenta una fuerza total de **5353.34N** provocando principalmente esfuerzo cortante en las columnas.

**Figura 15 Fuerzas que actúan en la estructura.**



## Esfuerzo máximo en la columna.

Los elementos del macro túnel serán sometidos a esfuerzos o deformaciones que puedan ocasionar que uno o más elementos fallen. Estas fallas puede ser por la acumulación y/o exceso de dos tipos de esfuerzos: cortante, normal, o la combinación de ambos, sin embargo dentro del análisis, se estudiara principalmente la columna como elemento estructural, ya que esta descansa toda la carga producida por la armadura y la cubierta, provocando esfuerzo de compresión y flexión, además de la carga generada por el viento exponiéndola a esfuerzo cortante

En el cálculo de esfuerzo se aplicaran los valores máximos para asegurar que la resistencia de fluencia del material al ser mayor al esfuerzo máximo presente en el elemento, la estructura soportara las cargas determinadas. Se aplicara la formula de esfuerzo cortante y esfuerzo normal máximo.

Esfuerzo cortante máximo.

$$T_{\max} = \frac{1.5 V_{\max}}{A}$$

A

Donde:

$T_{\max}$  = esfuerzo cortante máximo debido a la fuerza cortante máxima  $V_{\max}$  en un punto de interés perteneciente a la sección transversal de interés de la viga (  $N/m^2$  )

$V_{\max}$  = fuerza cortante máxima (interna) resultante, que actúa en la sección transversal de interés.

A = área de la sección transversal donde se aplica  $V_{\max}$  ( $m^2$ )

Esfuerzo normal máximo.

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A}$$

A

$\sigma_{\max}$  = esfuerzo normal máximo aplicado en un punto de la sección transversal ( $N/m^2$ )

$N_{\max}$  = fuerza normal máxima resultante (interna) aplicada en un punto de la sección transversal (N)

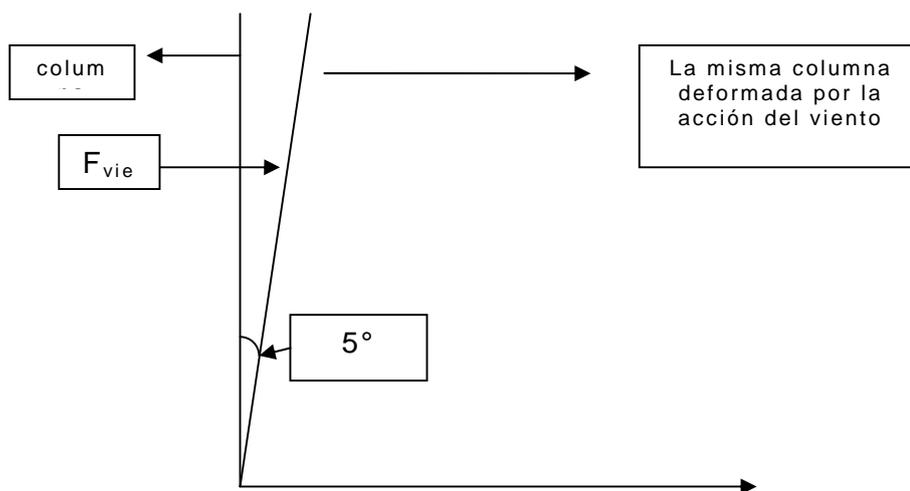
$A =$  área de la sección transversal donde es aplicado  $N_{\max}(m^2)$

Se sabe que la fuerza resultante producida por viento es de 5353.34 N que es la que causa una deformación angular de  $5^\circ$ . El valor de la fuerza esta actuando sobre las dos columnas, por lo que se divide entre dos para tener la carga que esta actuando en cada columna.

$$F_{\text{vien}} = 5353.34 \text{ N} / 2 = 2676.67 \text{ N}$$

Se debe descomponer la fuerza producida por la carga del viento en su componente horizontal (x), utilizando el ángulo de deformación, con esto podremos sumar la fuerza ocasionada por viento así como se muestra en la siguiente figura 16:

**Figura 16 Angulo de inclinación ocasionado por el viento.**



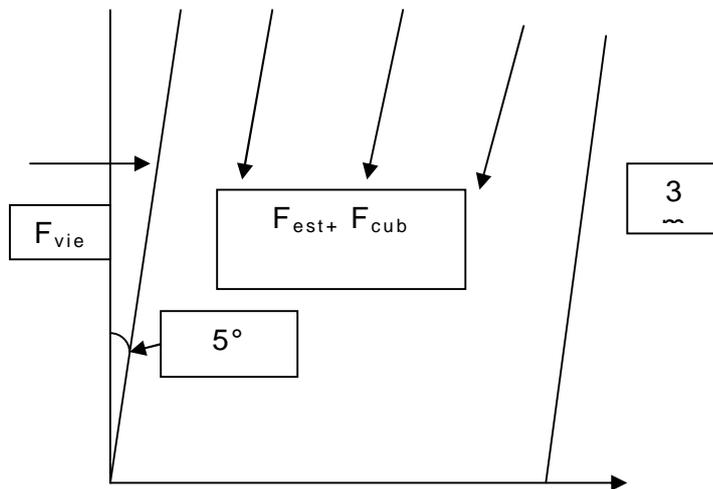
Con todos los cálculos de las fuerzas que actúan sobre la estructura se obtiene la figura 16 donde las fuerzas concentran su acción sobre una sola columna que es el punto mas crítico, se puede ver en dicha figura 16 la fuerza ocasionada por el viento la suma de la fuerza de la estructura y de l cubierta divida entre dos porque toda su carga la comparten las columnas, además también se ve la fuerza vertical y la deformación angular de la columna hacia en interior del macro túnel ocasionada por la carga del viento.

Se obtiene el diagrama de cuerpo libre de la columna a estudio para poder visualizar los esfuerzos que actúan sobre esta.

En la figura 17 se observa que prácticamente la columna esta sometida a:

- Compresión causada por la carga de la cubierta y por la estructura.
- Cortante causada por la fuerza del viento.

**Figura 17 Diagrama de cuerpo libre donde actúan todas las fuerzas**



Para hacer el cálculo de los esfuerzos normales y cortantes se debe apoyar en el diagrama de cuerpo libre de la columna para observar las fuerzas que actúan sobre esta y verificar las tres ecuaciones fundamentales del equilibrio y posteriormente seguir con el procedimiento de cálculo de esfuerzos mediante la teoría de esfuerzo máximo.

- Suma de todas las cargas componentes horizontales de todas las fuerzas, igual a cero. Estas corresponden con las cargas por viento, tomando como positivas las cargas dirigidas a la derecha.

$$F_x=0$$

$$V= 2676.67 \text{ N} * \cos 5^\circ$$

$$V=2666.48 \text{ N}$$

Con la determinación de la fuerza cortante máxima resultante se procede a calcular el esfuerzo cortante máximo en la columna aplicando la fórmula:

$$T_{\max}=1.5 V_{\max}$$

A

Primero hay que conocer el área del material usado en este caso es tubo de 1" de ced 30 y se obtiene con la siguiente formula.

$$A = r^2 = 1.27^2 = 3.9898 \text{ cm}^2 = 3.9898 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T_{\max} = \frac{1.5 \cdot 2666.48 \text{ N}}{3.9898 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 10024863.4 \text{ N/m}^2$$

$$T_{\max} = 102.22 \text{ kg/cm}^2$$

Para obtener el factor de seguridad se divide la Resistencia verdadera entre la resistencia requerida es decir el esfuerzo de fluencia del material que es de 2460 kg/cm<sup>2</sup> (el valor se obtiene del cuadro 19 ubicado en el apartado de anexos) equivalente a 241243590 N/m<sup>2</sup> entre el esfuerzo cortante máximo, no obstante ese esfuerzo de fluencia esta considerado en tensión o compresión, es decir que el esfuerzo de fluencia en cortante se estima al 50%

$$120621795 \text{ N/m}^2 / 10024863.4 \text{ N/m}^2 = 12.03$$

Este valor nos indica que la columna de 1" puede soportar 12 veces su carga que le ocasiona su esfuerzo cortante ocasionado por el viento.

Este factor indica que antes de que se venza la columna por esfuerzo cortante, la carga que soporta es de 1230 kg/cm<sup>2</sup>

- Suma de todas los componentes verticales de todas las fuerzas; igual a cero. Estos corresponden con las cargas de la estructura y de la cubierta tomando como positivas las fuerzas dirigidas hacia arriba.

$$F_y = 0$$

$$N - 2152.43 \text{ N} - 433.16 \text{ N} = 0$$

$$N - 2585.59 = 0$$

$$N = 2585.59 \text{ N}$$

Con la determinación de la fuerza normal máxima resultante se procede a calcular los esfuerzos normales de la columna aplicando la siguiente formula:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A}$$

A

$$\sigma_{\max} = 2585.59 \text{ N} / 3.9898 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 6480500.276 \text{ N} / \text{m}^2$$

Se obtiene el factor de seguridad para esfuerzo normal:

$$241243590 \text{ N} / \text{m}^2 / 6480500.276 \text{ N} / \text{m}^2 = 37.22$$

Este valor indica que la columna puede soportar 37.22 veces la carga que le ocasiona al esfuerzo normal máximo.

Este factor muestra que antes de que se venza la columna por esfuerzo normal o compresión, la carga que soporta de forma vertical es de 2460 kg/cm<sup>2</sup> arriba de esta carga se provocara la falla.

- Suma de los momentos de todas la fuerzas con relación a un punto cualquiera, igual a cero. Esto corresponde a las cargas por viento que ya fue calculado anterior mente y que es la única carga que provoca la deformación de la estructura.

### 5.1.7 Esfuerzo máximo en tornillo.

Se elige un tornillo de cabeza hexagonal con punta de broca #14x1" el cual tiene una resistencia de 150 mil lb/in.

Para conocer los esfuerzos a los que esta sometido el tornillo es necesario aplicar la formula para calcular el esfuerzo cortante simple.

$$\tau_{\text{tornillo}} = P/A$$

Para aplicar la formula es necesario conocer el área transversal del tornillo.

$$A = d^2/4$$

$$A = (.63)^2/4 = .3117 \text{ cm}^2$$

$$A = 3.117 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Se analizara el esfuerzo con el tornillo que genera la unión entre la columna y el arco tomando como fuerza cortante máxima la fuerza normal máxima o de compresión en la columna ya que al ser vertical actúa cortantemente al tornillo.

$$T_{\text{tornillo}} = 2585.59 \text{ N} / 3.117 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 81384639.6 \text{ N/ m}^2$$

Para obtener el factor de seguridad en cortante se cambia la resistencia del tornillo de 150 mil lb/ en a  $\text{N/ m}^2$  y se divide entre dos ya que se toma el esfuerzo de la columna al 50% (Especificación del esfuerzo de fluencia de pija del # 14 de 1" figura 7 en la sección de anexos)

$$1313464742/81384639.6 = 16$$

Este valor nos indica que el tornillo pija soporta 16 veces la carga que ocasiona el esfuerzo cortante. Por lo tanto el tornillo soporta una carga de  $13393.61 \text{ kg/ cm}^2$  por lo tanto la pija esta sobrada en su resistencia.



Foto 1 tornillo pija colocado en la estructura.

## 5.2 Lugar de implementación.

El lugar de implementación fue en la parcela 9 en la Fes Cuautitlán, según Teresa Reyna se tiene que el clima de la región según Köppen es C(w<sub>0</sub>) (w) b templado, el mas seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, e invierno seco (con menos del 5% de precipitación total anual), con verano largo y fresco, y respecto a la oscilación de temperatura esta tiende a ser extremosa.

Se cuenta con un clima templado con una temperatura media anual de 15.7°C, siendo enero el mes mas frío con promedio de 11.8°C y junio es el mes mas caliente con 18.3°C. La oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es de 6.5°C, por lo que se considera el lugar como extremoso. En la región la estación lluviosa es de mayo a octubre.

En la zona de estudio se tiene una constante térmica en promedio de 1250 grados-calor anualmente, su concentración mayo se encuentra en el mes de junio (199) seguida por julio y agosto (165) respectivamente.

Según el calculo por la formulas propuestas por Went (1957) en la zona se tiene que el mes de febrero a octubre las Fototemperaturas son en promedio superiores a 20°C, lo que indica que durante el día las plantas gozan este tipo de temperaturas efectivas, en tanto durante la noche (nicto-temperaturas) las temperaturas efectivas están dentro del rango de 8° a 14°C aproximadamente. Las diferencias de temperatura diurnas y nocturnas es de 6° a 10°C.

Los vientos de la zona se presentan a partir de septiembre a marzo, los vientos dominantes tienen un fuerte componente del oeste, en tanto que de abril a agosto se presentan calmas y vientos del este. Dentro de la escala de Beaufort queda dentro de la calma o el aire ligero (de menos de 1.6 a 4.8 km por hora).

El número de días con heladas con mayor frecuencia se presentan en los meses de diciembre, enero y febrero, y en algunos casos se llega a presentar en mayo. (22)

La cantidad de horas-frío al año en la zona es de 535.75, según el promedio de WEINBERGER y DAMOTA. (22)

La precipitación anual de la zona es de 605 mm. (22)

Sin embargo en los últimos años se ha presentado una disminución en la temperatura media anual y un aumento en la precipitación anual tal como se muestra en el cuadro 18. Esto puede ser causado por el crecimiento, urbano, comercial e industrial de la zona.

**Cuadro 18 Parámetros climáticos según Teresa Reyna y las Normales climatológicas de la Estación 15081 “Represa El Alemán Tepetzotlán” Edo. Mex 1981-2010**

<b>Elemento</b>	<b>Características climático frutícolas en Cuautitlán Estado de México según Teresa Reyna.</b>	<b>Normales climatológicas de la Estación 15081 “Represa El Alemán Tepetzotlán” Edo. Mex 1981-2010</b>
<b>Temperatura media anual</b>	15.7 °C	15.5
<b>Horas frío</b>	800-820	535.75
<b>Constante térmica</b>	1250 grados-calor	1317.50 grados-calor
<b>Precipitación</b>	605 mm	620.60 mm

### 5.3 Construcción del macrotúnel

Con base a los cálculos hechos en el apartado 4.4 se procedió a construir el Macrotúnel los materiales utilizados para construir 126 m<sup>2</sup> (6x21 mts) fueron:

<ul style="list-style-type: none"><li>• 27 tubos de 1"</li><li>• 2 tubos de ¾"</li><li>• 3 soleras de 1/8x1"</li><li>• 40 tornillos de 21/4"x1/4"</li><li>• 1 dobladora de tubo.</li><li>• 1 taladro de 1/ 2</li><li>• 12 cruces</li><li>• 4 tes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• estacas.</li><li>• Hilo</li><li>• 300 pijas con punta de broca del # 14x1"</li><li>• 50 piedras</li><li>• 16 cortineros.</li><li>• alambre zig-zag</li></ul>
--	--

Se decidió construir un macro túnel con una dimensión de 126m<sup>2</sup> (6x21 mts). Para empezar la construcción primero se hizo la limpieza de las malas hierbas, de eliminar objetos que nos impidan movernos libremente en el área decidida y levantar planta para no estarla maltratando, después con las estacas y el hilo se comienza marcar en donde va ir colocado cada tubo y posteriormente se procederá a realizar los hoyos con una pocera o una barreta.

Los tubos solo se rellenan con tierra y se apisonan, todos los tubos se les va a colocar una zapata en forma de cruz, construida con solera de 1/8x1". Para la colación de los tubos se va ir realizando en pares y se va ir colocando el arco sujetado con tornillos.

En la construcción de la zapata se cortaran tramos de 30 cm de la solera de 1/8x1" esta solera se recomienda atornillarla o soldarla en la base de los tubos, la solera se doblara en forma de "L" y en los tubos que van en inicio y al final de construcción se le colocan 4 soleras cortadas a 30 cm y dobladas a 15cm esto nos dará la una cruz que va a tener la función de zapata. Posteriormente se hacen los agujeros donde va ir colocado cada poste. Los postes se van anclar al suelo con piedras y luego rellenos con tierra, tal como se muestra en la siguientes Fotos 2 a la 9.



Foto 2: Colocación de las cruces en los tubos.



Foto 3: Para los tubos que van en el centro solo llevan dos "L"



Foto 4: Presentación de cada uno de los tubos en el lugar que le corresponde



Foto 5: Colocación del tubo en su lugar definitivo.



Foto 6 : Colocar las piedras y apisonar



Foto 7: Apisonado de la tierra



Foto 8: Poste terminado



Foto 9: Para los postes que van en las esquinas se le colocaron 4 piedras y apisonado

Al estar colocando los postes se le toma un nivel en esta caso se saco con una manguera de nivel, esto se realiza para que los postes y los arcos no se vean disperejos. Cuando los postes ya están listos, se comienza a hacer los arcos con la ayuda de una dobladora de tubo, la distancia que se le dio al arco del centro al a base es de 50 cm, y el dobles que se le dio en las orillas fue de  $54^\circ$  por 14 cm de distancia, así como se ilustra en las Fotos 10,11,12,13.



Foto 10: Toma de nivel



Foto 11:Dobles de los arcos



Foto 12: Dobles de las orillas a un ángulo aproximado de 54° y una distancia de 14cm.



Foto 13: Arco terminado.

Después se comienza con el ensamble de todas las piezas, y aquí se necesita la ayuda del taladro, las pijas punta de broca de 1" y de un generador de luz Fotos 14,15,16,17,18.



Foto 14: Ensamble de las piezas.



Foto 15: Ensamble de las piezas



Foto 16: Ensamble de la estructura.



Foto 17: Ensamblando los cruces



Foto 18: Estructura terminada.

Y por último viene la colocación del plástico, para esto se colocar primero los cortineros (en los cálculos de carga el peso de los cortineros no se toma en cuenta ya que es despreciable) y ya después el plástico, así como lo veremos a continuación Fotos 19, 20, 21, 22,23 24.



Foto 19: Cortinero instalado



Foto 20: Cruce de los cortineros.



Foto 21: Colocando el plástico y engrapándolo al cortinero con alambre zig-zag



Foto 22: Colocando el plástico en la parte lateral.



Foto 23: Macrotúnel terminado vista interior



Foto 24: Macrotúnel terminado vista por fuera

#### 5.4 Costos de producción del cultivo de zarzamora para 126 m<sup>2</sup>

En el cuadro 19 se muestra lo relacionado a los gastos que generan la construcción del túnel y las actividades que de esta emanan.

**Cuadro19 Costos de producción del cultivo de zarzamora para 126 m<sup>2</sup>**

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
<b>Preparación del terreno</b>				
Limpieza	Jornal	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Aradura	Mecánico	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Rastreo	Mecánico	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Surcado	Mecánico	1	\$ 200.00	\$ 200.00
<b>Plantación</b>				
Adquisición de la planta	Pieza	80	\$ 30.00	\$ 2,400.00
Trazado del huerto	Jornal	2	\$ 100.00	\$ 200.00
Fertilización de fondo	Kilogramo	200	\$ 1.00	\$ 200.00
Colocar plantas en le surco y sembrar	Jornal	2	\$ 100.00	\$ 200.00
Instalación de espalderas				\$ -
Postes	Pieza	10	\$ 60.00	\$ 600.00
Colocación	Jornal	2	\$100.00	\$ 200.00
Alambre recosido	Pieza	1	\$ 760.00	\$ 760.00

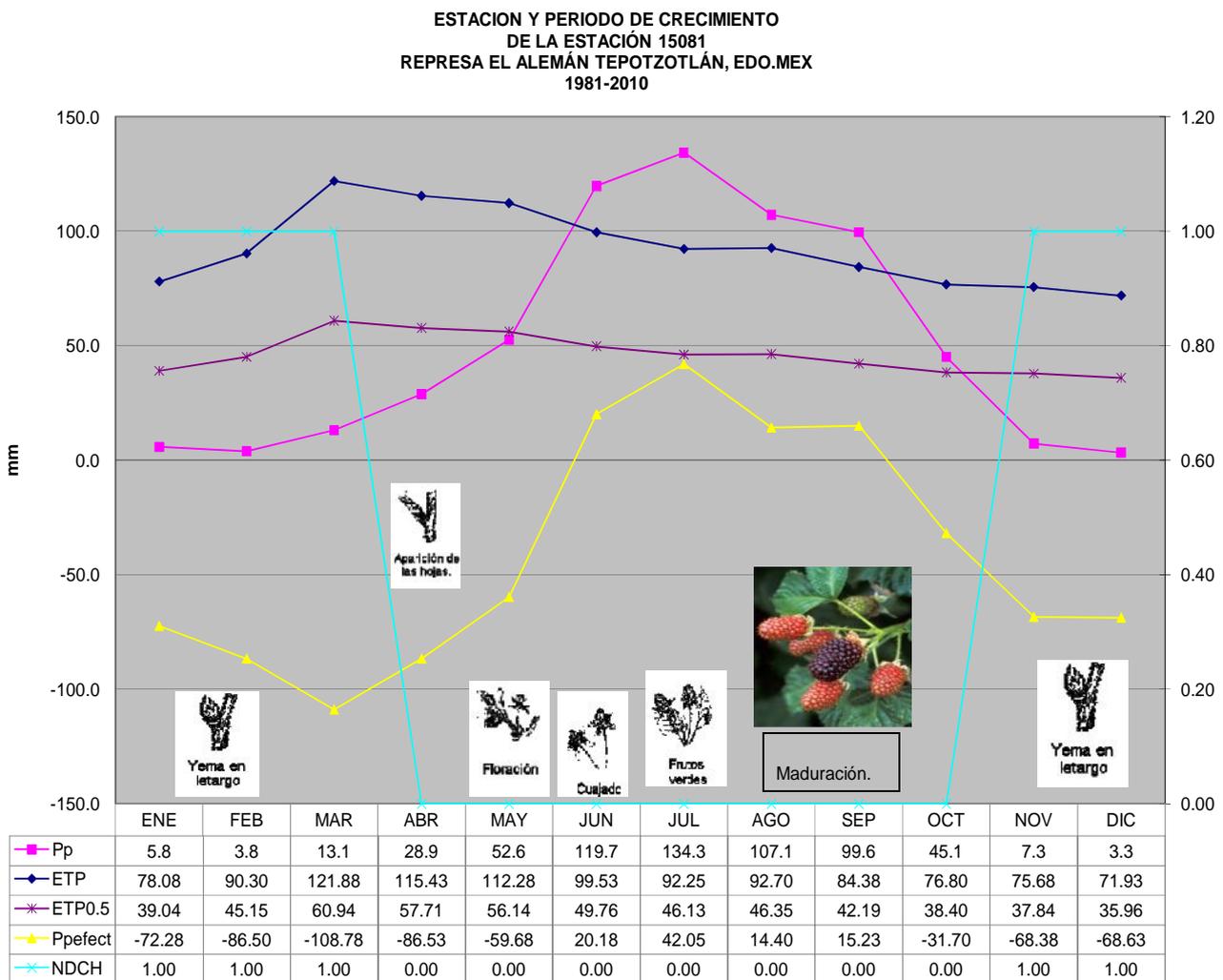
<b>Colocación</b>	Jornal	2	\$ 100.00	\$ 200.00
<b>Instalación de las anclas</b>	Jornal	2	\$ 100.00	\$ 200.00
<b>Labores culturales</b>				
<b>Control de maleza mecánico</b>				
<b>Desbrozadora</b>	Jornal	1	\$ 120.00	\$ 120.00
<b>Manual</b>	Jornal	2	\$ 100.00	\$ 200.00
<b>Total</b>				<b>\$ 5,980.00</b>

Elaborado: Zúñiga Morales Henry. Costos al mes de Enero de 2012.

### 5.5 Estación y periodo de crecimiento de la zona de estudio para el cultivo de zarzamora.

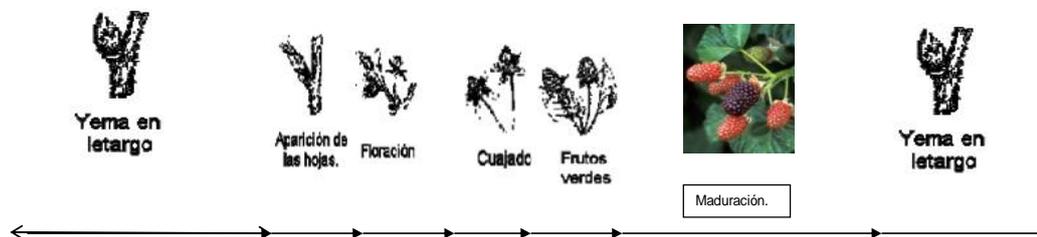
En función de la estación y periodo de crecimiento de la zona y de las etapas fenológicas del cultivo se genera el siguiente programa de actividades en la zona de estudio:

**Figura 18. Estación y periodo de crecimiento de la Estación 15081 “Represa El Alemán Tepetzotlán” Edo. Mex 1981-2010 con las etapas fenológicas del cultivo de zarzamora.**



Fuente: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

**Figura 19. Actividades del cultivo según su etapa fenológica.**



ACTIVIDADES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Podas												
Control de Maleza						*	*	*	*			
Control de plagas												
Control de enfermedades												
Fertilización (N)		50%				50%						
Fertilización P-K		40%				60%						
Riego												
Cosecha												

Elaboró: ZUÑIGA MORALES HENRY.

Nota: \* es el periodo crítico donde el control de la maleza tiene que ser mas frecuente.

**Figura 20. Fases fenológicas del cultivo de zarzamora cv Brazos.**

Fases fenológicas	Característica	Fecha a partir del:	Días
Brotación vegetativa	Fecha en que aparecen los botones vegetativos.	01 - 24 abril	24
Brotación	Momento en que aparecen los primeros botones florales, conocida como la fase de la palomita de maíz.	17 mayo	23
Floración	Momento en que las inflorescencias presentan las primeras flores.		
Cuajado y desarrollo del fruto	Fecha en el fruto aparece incipiente ya amarrado y aun envuelto por algunos residuos florales, inician su desarrollo y alcanzan su máximo tamaño.	17 junio	31
Madurez de consumo	Fecha en que el fruto adquiere el color y sabor típicos de la variedad.	17 julio	30
			108

Fuente: Frutales Arbustivos Explotación en pequeñas parcelas  
<http://www.agrobyte.com/publicaciones/frutales/indice.html>

## 5.6 ¿Como colocar el sistema de soporte?

Para comenzar a colocar los postes para el soporte de la planta se realizan los siguientes pasos:

### Materiales utilizados para construir los tutores.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Polines de 2”</li><li>• Alambre recosido.</li><li>• Cemento.</li><li>• Grava y arena.</li><li>• Agua.</li><li>• Tubos galvanizados de 2” usados como contrafuertes de 2.50 mts de largo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Posera.</li><li>• Estacas de madera o varilla.</li><li>• Maceta.</li><li>• Cinta métrica.</li><li>• Un birbiquin con su broca para perforar los polines.</li><li>• Nivel de mano y de manguera.</li><li>• Malacate para tensar.</li><li>• Pinzas de presión.</li><li>• Escuadras.</li></ul>
--	---

### ¿Como se colocaron los tutores?

Primero se tira una línea para marcar en donde va ir cada poste en este caso es de 10 mts, y se marca con estacas ya sean de madera o de varilla así como se muestra en las Fotos 25 y 26:



Foto 25: Se esta tirando la línea para marcar donde se debe colocar el poste



Foto 26: Estacas colocadas.

Después se comienza a cavar los hoyos a una profundidad de 50 cm donde se va a colocar el poste, Fotos 27 y 28



Foto 27: Cavando los hoyos.



Foto 28: Hoyo terminado

Luego se coloca el poste y se rellena con concreto a una resistencia de  $300 \text{ kg/ cm}^3$ , y se nivela el poste con un nivel de mano así como se muestra en la Foto 29,30,31,32



Foto 29: Rellenando el poste con concreto



Foto 30: Poste relleno



Foto31: Nivelando el poste con un nivel de mano



Foto32: Todos los postes colocados.

Después de haber colocado los postes se comienza a sacar los niveles para poner el alambre que va a servir de sostén de la planta, el nivel se saca partiendo de una base, que en este caso es el primer poste, con una distancia del suelo al primer alambre de 80 cm, y después se colocan los contrafuertes que son de donde se va a tensar el alambre. Este proceso se muestra en las siguientes Fotos33, 34, 35, 36, 37, 38,39.



Foto 33: Haciendo el hoyo para el contrafuerte



Foto 34: Contrafuerte colocado



Foto 35: Sacando los niveles para colocar el alambre.



Foto 36: Sacando los niveles para colocar el alambre.



Foto 37: Perforando el poste, para que pase el alambre.



Foto 38: Tensando el alambre.



Foto39: Tutorado terminado.

### 5.7 Sistema de riego.

Para este punto se necesito dar un desnivel al poliducto de 40 cm, para que el agua y la presión se distribuyera uniformemente, después de esto se coloca el poliducto de ½” y va sujetado a los postes del tutorado con unas abrazaderas para tubo de tipo uña, después de haber colocado el poliducto se llena de agua, y de la parte mas lejana se comienza a perforar con un clavo de un calibre grueso en la parte media se cambia de clavo y se perfora con uno mas delgado, esto se hace para que el riego se uniforme y se pueda regar la línea completa. (18,19)

#### Materiales usados para colocar el sistema de riego.

- Poliducto de 100mts de largo de ½”
- abrazaderas para tubo de tipo uña.
- Tornillos.
- Taladro atornillador.
- Desarmador.
- Maceta.

El procedimiento que se utiliza para la colocación del sistema de riego se muestra en las Fotos:



Foto 40: Herramienta utilizada.



Foto 41: Marca de nivel.



Foto 42: Sistema de riego terminado y funcionando.



Foto 43: Sistema de riego terminado y funcionando.

### 5.8 Fertilización.

Con base a los cuadros 3 y 4 que se toman como referencia para el cálculo de fertilizante a usar se obtienen los siguientes resultados.

Según el cuadro 3 los requerimientos de nutrientes para el cultivo de zarzamora con un rendimiento de 18 ton/ha, son los siguientes: (13,18,19)

N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	Ca	Mg	S
140	110	180	100	90	90

Por lo tanto es la formula que se va a usar.

Ahora vamos haber las fuentes con la que con tamos:

En este caso se cuanta con triple 16, urea y cloruro de potasio. Estos tres fertilizantes si con compatibles por lo tanto los podemos mezclar sin ningún problema. (13,18,19)

Para saber cuanto fertilizante vamos aplicar necesitamos saber cuanto es la cantidad de cada elemento que contiene el fertilizante, sabemos que el triple 16 en 100 kg contiene 16 kg de N, 16 kg de P y 16 kg de K y la urea en 100 kg tiene 46 kg de nitrógeno. (13,18,19)

Con una regla de tres sabremos cuanto fertilizante necesitamos, se va a comenzar con el elemento que es menos demandante en este caso será el fosforo P que demanda 110 kg/ha y la regla se hace de la siguiente manera:

100 kg de fertilizante  $\longrightarrow$  16 kg fosforo P  
 x  $\longleftarrow$  110 kg fosforo P

$$x = 110 \cdot 100 / 16 = 688 \text{ kg / ha de triple 16}$$

Por lo tanto se esta aplicando 110 Kg N, 110kg P y 110 Kg K

Pero solo se cubren los requerimientos del fosforo y los del nitrógeno, pero el potasio no.

Para cubrir los requerimientos del nitrógeno nos faltan  $140 - 110 = 30$  Kg de nitrógeno.

Y vamos a usar la urea la cual esta al 46%

100 kg de fertilizante  $\longrightarrow$  46 kg nitrógeno N  
 x  $\longleftarrow$  30 kg nitrógeno N

$$x = 30 \cdot 100 / 46 = 65 \text{ kg de urea para completar los 30 kg de nitrógeno faltantes.}$$

Para el caso del potasio nos hace falta  $180 - 110 = 70$  kg de potasio K

Para este elemento vamos utilizar el cloruro de potasio el cual tiene una concentración de 60kg de potasio K por cada 100 Kg de fertilizante.

100 kg de fertilizante  $\longrightarrow$  60kg potasio K  
 x  $\longleftarrow$  70 kg potasio K

$$x = 70 \cdot 100 / 60 = 117 \text{ kg de cloruro de potasio,}$$

Por lo tanto para logra la formula antes mencionada se requiere de:

688 kg de triple 16, 65 kg de urea y 117 kg de cloruro de potasio. (13,18,19)

## 6 DISCUSIÓN.

Aunque los datos climatológicos con los que se trabajó muestran que los meses con heladas son Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, se ha detectado, en la operación del huerto, eventos extremos, como son las heladas tempranas en el mes de septiembre y las heladas tardías en el mes de mayo, aunado a que hay una combinación de vientos fríos y secos, los cuales modifican la temperatura del lugar, cabe mencionar que los datos climatológicos utilizados fueron de la Estación 15081 “Represa El Alemán Tepetzotlán” Edo. Mex 1981-2010 debido a que el responsable de la estación Almaráz comentó que los datos del periodo 2006-2010 no eran del todo confiables.

Por estos cambios que se están presentando en la zona se decidió construir un macrotúnel para producir zarzamora y servirá de abrigo para el cultivo. Otra de las razones es que el cultivo tiene una producción de agosto a octubre, que es un periodo en donde empiezan las heladas, pero además existe la posibilidad de mantener la producción de zarzamora de forma continua en los meses de bajas temperaturas que es cuando el producto alcanza los mejores precios en el mercado nacional e internacional.

También se tiene la posibilidad de obtener un ingreso para solventar el mantenimiento que requiere el huerto. El producto obtenido se puede comercializarse en fresco o procesado.

Con base a las condiciones ambientales y la disponibilidad de recursos fue necesario adecuar materiales, la forma de la estructura y tipos de cubiertas. Es por eso que se optó por construir un macrotúnel de 126 m<sup>2</sup> utilizando tubos de acero de 1” cédula 30, el material de cubierta es el polietileno de larga duración de 80 galgas el cual es un material económico, tiene buenas propiedades mecánicas y buena retención de calor, por lo tanto el diseño de este tipo de estructura soporta vientos de 80 km/hrs. No fue posible optar por el acero galvanizado debido a su elevado precio.

También se diseñó el sistema de riego y el sistema de conducción, los cuales fueron hechos con materiales que se tenían en bodega, con esto se tiene un ejemplo de aprovechar el material que se tiene, siempre y cuando esté en buenas condiciones y cubra el objetivo deseado.

A pesar de que el monitoreo de la producción no está dentro del alcance del trabajo se observó que a partir de la colocación de la estructura, las plantas que están dentro de la misma se encuentran en producción, mientras las que no tienen cobertura no han iniciado su producción y presentan los efectos derivados por las bajas temperaturas que se han presentado en el ciclo.

Con la realización de este trabajo me permitió aplicar mis conocimientos adquiridos durante mi formación, además de que aprendí a tomar decisiones como de que material a usar, cuanto cuesta, realizar los ajustes necesario para la zona de implementación, realizar el mantenimiento del cultivo y observar las etapas que va teniendo el cultivo durante su ciclo.

Por otra parte este trabajo presenta una alternativa para el productor de bajos recursos económicos y que no tiene acceso a los programas gubernamentales, ya que es un proyecto de baja inversión y que requiere de poca mano de obra para poder realizar las labores de cultivo. Además que permite al productor apoyarse en este trabajo si no cuenta con una asesoría técnica especializada.

## **7 CONCLUSIONES.**

El uso de cubiertas plásticas para la producción de zarzamora en las zonas templadas es una alternativa viable.

En base a toda la investigación realizada se puede concluir que se llevó a cabo satisfactoriamente la implementación de un macrotúnel para el cultivo de zarzamora (*Rubus fruticosus*) en la FES Cuautitlán, que brinda los elementos para desarrollar un guía técnica para este cultivo. Ya que esta tecnología constituye una alternativa de producción para las zonas templadas permitiendo obtener ventajas en la estacionalidad de la cosecha y en la colocación del mercado.

## 8 BIBLIOGRAFIA.

1. Castilla. (2005). *Invernaderos de plastico tecnologia y manejo*. Mexico: Mundiprens
2. D´Esclapon, D. R. (2008). *Nuevo tratado practico de fruticultura*. Barcelona España: Editorial Blume.
3. J.M., G. (2002). *Mecanica de meteriales* (5° ed.). México: Thomson Learning Inc.
4. Meli, P. (2006). *Diseño estructural* (2° ed.). México DF: Limusa.
5. Pollock, M. (2007). *Enciclopedia del cultivo de frutas y hortalizas*. Barcelona España: Blume.
6. Serrano, Cermaño Z.. (2005). *Construccion de invernaderos*. México: Mundiprensa.

### Tesis.

7. Cárdenas Hidalgo Damián, *Diseño de un invernadero para la producción de chile manzano (Capsicum pubescens RyP) en el municipio de Tenancingo Estado de México*, Tesis de Ingeniería Agrícola, México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.

### Publicaciones.

8. Clavos Nacionales SA de CV, Lita de precios enero 2011. Cuautitlán Estado de México.
9. Ferretería el Prado SA de CV, Catalogo de productos 2011. San Juan del Rio, Querétaro.
10. Normas técnicas complementarias para diseño por sismo 2008
11. Normas técnicas complementarias para diseño por viento 2008.
12. Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas 2008

### Revistas.

13. Chirinos Urbana Hamlet. "Fertilización balanceada de Fresa, frambuesa, Zarzamora, Arándano. *Revista Tecno Agro*, No. 48, -Noviembre/ Diciembre 2008, México, pp 32-34

### Internet.

14. Casares, T. S. (20 de 07 de 2011). Diseño de invernaderos. Ecuador.
15. *El cultivo de la mora*. banco interamericano de desarrollo. Abril 2005 <http://www.zamorano.edu/gamis/frutas/mora.pdf>
16. FAO 2002. "El cultivo protegido en clima mediterráneo. "Estudio FAO: Producción y protección vegetal. Manual preparado por el grupo de cultivos

- Hortícolas dirección de producción y protección vegetal. Roma.  
<http://www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/s8630s0d.htm#bm13>
17. *Los plásticos en la agricultura materiales de cubierta para invernaderos.*  
<http://www.rregar.com/index.php?/invernaderos/los-plasticos-en-la-agricultura.html>
18. Moras berries del Uruguay.  
<http://usuarios.netgate.com.uy/cmonteiro/moras.htm> consultada el 6 de mayo de 2010
19. Iván Gallardo A., Ing. Agr. M.Sc.; Julio Cuadra G., Ing. Agr. “Producción de mora híbrida (zarzamora)” Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Comisión Nacional de Riego CNR  
[http://www.abcagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/mora\\_hibrida.asp](http://www.abcagro.com/frutas/frutas_tradicionales/mora_hibrida.asp)  
consultada el 6 de mayo de 2010
20. Servicio Meteorológico Nacional, “Normales Climatológicas” México.  
<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL15081.TXT>
21. Frutales Arbustivos Explotación en pequeñas parcelas  
<http://www.agrobyte.com/publicaciones/frutales/indice.html>
22. Reyna Teresa, “Características climático frutícolas en Cuautitlán estado de México, CONAFRUT.
23. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION (SAGARPA), “Componente Agricultura Protegida, México, mayo 2009.
24. Ing. Hernán G. Berardocco. “Acolchado plástico”. Universidad Andina Simón Bolívar. <http://www.centa.gob.sv/sidia/pdf/produccion/Acolchado%20Plastico.pdf> consultada el 6 de mayo de 2010
25. Clase de fruticultura avanzada. Ing Ochoa Ibarra 2010
26. Datos de la estación UNAM-ALMARAZ periodo 1987-2002. Mercado Mancera Gustavo

## 9 ANEXOS

### Cuadro 20. Los valores del esfuerzo de fluencia, $F_y$ , y de ruptura en tensión, $F_u$ , que se utilizarán en el diseño, de estructuras metálicas

Tabla 1.1 Esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  de aceros estructurales

Nomenclatura		$F_y$ <sup>(3)</sup>		$F_u$ <sup>(4)</sup>	
NMX <sup>1</sup>	ASTM <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A36	250	2530	400 a 550	4080 a 5620
B-99	A529	290	2950	414 a 585	4220 a 5975
B-282	A242	290	2950	435	4430
		320	3235	460	4710
		345	3515	485	4920
B-284	A572	290	2950	414	4220
		345	3515	450	4570
		414	4220	515	5270
		450	4570	550	5620
	A992	345	3515	450 a 620	4570 a 6330
B-177	A53	240	2460	414	4220
B-199	A500 <sup>(5)</sup>	320	3235	430	4360
B-200	A501	250	2530	400	4080
	A588	345 <sup>(6)</sup>	3515 <sup>(6)</sup>	483 <sup>(6)</sup>	4920 <sup>(6)</sup>
	A913	345 a 483	3515 a	448 a 620	4570 a
		<sup>(7)</sup>	4920 <sup>(7)</sup>	<sup>(7)</sup>	6330 <sup>(7)</sup>

Fuente: normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas (2008)

### Rugosidad del terreno. Figura 22

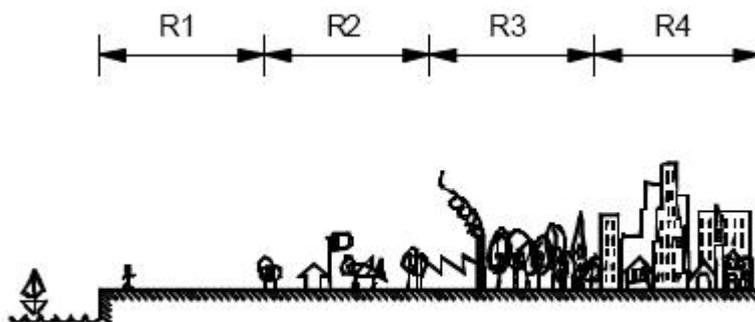


Figura 3.1 Rugosidad de terreno

Fuente: Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento Del Distrito Federal (2008)



## Cuadro 22 Producción agrícola de zarzamora ciclo 2010 modalidad riego y temporal.

### PRODUCCION AGRICOLA

Ciclo: Cíclicos y Perennes 2010

Modalidad: Riego + Temporal

ZARZAMORA

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
CHIHUAHUA	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
COLIMA	57.75	57.75	1,326.28	22.97	24,050.00	31,897.04
DISTRITO FEDERAL	5.00	5.00	20.63	4.13	10,217.58	210.79
GUANAJUATO	15.00	15.00	39.00	2.60	5,230.77	204.00
HIDALGO	1.00	1.00	2.50	2.50	11,000.00	27.50
JALISCO	253.50	138.50	1,558.24	11.25	20,659.07	32,191.79
MEXICO	33.00	30.50	203.95	6.69	22,202.75	4,528.25
MICHOACAN	7,776.25	6,118.25	58,278.98	9.52	23,299.65	1,357,880.02
MORELOS	10.00	10.00	10.00	1.00	26,200.00	262.00
NAYARIT	6.00	6.00	45.00	7.50	16,000.00	720.00
PUEBLA	3.00	3.00	11.94	3.98	10,000.00	119.40
QUERETARO	7.00	7.00	61.00	8.71	9,500.00	579.50
	<b>8,187.50</b>	<b>6,392.00</b>	<b>61,557.52</b>	<b>9.63</b>	<b>23,207.89</b>	<b>1,428,620.28</b>

Fuente: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)