

8  
201



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLAN"



**"ELABORACION, CALIBRACION DE BLOQUES DE RESISTENCIA  
ELECTRICA Y SU VALIDACION EN FUNCION DE LA CORRE-  
LACION RENDIMIENTO-CONTENIDO DE HUMEDAD DEL  
SUELO EN EL NOPAL DE VERDURA. (Opuntia spp)"**

## T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA

P r e s e n t a n :

MAGDALENO CISNEROS CRUZ

ALVARO PAREDES PEREZ

FAVIO SISTERNES BETANCOURT

Director de Tesis: Ing. Héctor Antonio Sosa Meza

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991



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 está 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.

## INDICE GENERAL

	INDICE GENERAL	
	INDICE DE CUADROS	
	INDICE DE FIGURAS	
	INDICE DE GRAFICAS	
	RESUMEN	
1	INTRODUCCION	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.1.1	Objetivos Generales	3
1.1.2	Objetivos Particulares	3
1.2	HIPOTESIS	4
11	REVISION DE LITERATURA	5
2.1	BLOQUES DE RESISTENCIA ELECTRICA	6
2.1.1	Historia	6
2.2	EL NOPAL	7
2.2.1	Historia	7
2.2.2	Origen	10
2.2.3	Importancia Económica	12
2.2.3.1	Alimentacion	13
2.2.3.2	Medicinal	14
2.2.3.3	Industrial	15
2.2.3.4	Ecológico	15
2.2.4	Distribución Geográfica	16
2.2.4.1	Distribución Geográfica en México	16
2.2.4.2	Regiones Productoras de Nopal de Verdura	21
2.2.5	Clasificación Taxonómica	21
2.2.5.1	Especies para Verdura	25
2.2.6	Condiciones Ecológicas	26
2.2.6.1	Altitud	28
2.2.6.2	Suelos	29
2.2.6.3	Clima	30
2.2.6.4	Temperatura	36
2.2.6.5	Precipitación Pluvial	31
2.2.6.6	Latitud	32
2.2.6.7	Vientos	33
2.2.7	Descripción Botánica	33

2.2.7.1	Raíz (Morfología y Fisiología)	35
2.2.7.2	Tallo (Morfología y Fisiología)	37
2.2.7.3	Hojas	40
2.2.7.4	Importancia del Agua	41
2.2.8	Sistema de Producción Intensivo	42
2.2.8.1	Selección de Material Vegetativo	43
2.2.8.2	Tratamiento del Material Vegetativo	44
2.2.8.3	Traza de Plantación	45
2.2.8.4	Protección de la Plantación	45
2.2.8.5	Diseño, Distribución y Traza de Plantación	45
2.2.8.6	Labores Culturales	46
2.2.8.7	Podas	48
2.2.8.8	Piagas	48
2.2.8.9	Enfermedades	49
2.2.8.10	Cosecha	50
2.2.8.11	Empaque	50
2.2.8.12	Transporte	51
III	CONSIDERACIONES GENERALES	52
3.1	LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	52
3.1.1	Clasificación Climática	52
3.1.2	Características del Suelo	54
3.2	PRIMERA ETAPA	57
3.2.1	Elaboración de Bloques de Yeso, su Calibración y Obtención de la Curva de Humedad	58
3.2.2	Análisis y Discusión	67
3.2.3	Conclusiones	70
3.3	SEGUNDA ETAPA	72
3.3.1	Variación en Función de la Correlación Rendimiento Contenido de Humedad del Suelo en Nopal de Verdura	72
3.3.1.1	Metecología para la Calibración de Bloques de Yeso en la Parcela Experimental	73
3.3.1.2	Metodología para la Colocación de Microtúneles	74
3.3.1.3	Metodología para la Toma de Lecturas	75
3.3.1.4	Metodología para el Muestreo de Humedad del Suelo (Muestreo Gravimétrico)	75
3.3.2	Diseño Experimental	76

3.3.3	Cosecha	83
3.3.4	Comparación del Método Gravimétrico/Bloques de Yoso tipo Henderson	84
3.3.5	Respuesta del Rendimiento-Tensión del Suelo	87
3.3.6	Análisis y Discusión	90
3.3.7	Conclusiones	96
IV.	BIBLIOGRAFIA	98
V.	ANEXOS	105

INDICE DE CUADROS.

CUADRO	PAGINA	
I.	DISTRIBUCION DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DEL SUBGENERO <u>PLATYOPUNTIA</u> EN MEXICO	17
II.	RELAACION DE DATOS DECENALES (10 DIAS) PROMEDIO DE TEMPERATURA EN °C, PRECIPITACION EN mm. Y EVAPO-RACION EN mm. EN EL VALLE DE CUAUTITLAN DE R.R. EDO. DE MEX. (1989-1990)	53-A
III.	ANALISIS Y CLASIFICACION TEXTURAL DE LA PARCELA # 11 (F.E.S.-CUAUTITLAN)	55
IV.	DENSIDAD APARENTE REAL DE LA PARCELA # 11 (F.E.S.-CUAUTITLAN, U.N.A.M.)	56
V.	VALORES ESTIMADOS POR LA ECUACION EN % DE HUME-DAD, TENSION EN ATMOSFERAS PARA LA PARCELA # 11 DE LA F.E.S.-U.N.A.M.	64
VI.	RELACION DE VALORES ENTRE LOS PORCENTAJES DE HUMEDAD Y LOS mm. DE AGUA OBTENIDOS PARA CADA TRATAMIENTO	64
VII.	RELACION DE DATOS EN PORCENTAJE DE HUMEDAD, TEN-SION EN ATMOSFERAS Y VALORES CONSTANTES EN OHMS	66
VIII.	DIMENSION DE LA PARCELA EXPERIMENTAL	77
IX	UBICACION DE LAS NAVES EXPERIMENTALES	77
X.	CONSOLIDADO DE ESPECIFICACION DE TRATAMIENTOS	78
XI.	RELACION DE VALORES ESTIMADOS DE TENSION EN ATMOSFERAS, PORCENTAJE DE HUMEDAD, LAMINA DE RIEGO EN cm., PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DE LA PARCELA # 11, F.E.S. CUAUTITLAN, UNAM	78
XII.	UNIDADES QUE CONFORMAN LA FORMULA PARA DETER-MINAR LA LAMINA DE RIEGO	81
XIII.	PORCENTAJE DE HUMEDAD Y SU CORRESPONDIENTE VALOR EN ATMOSFERAS	82
XIV.	RELACION SEMANAL DE COEFICIENTES DE CORRELACION "r", EN " METODOS DE DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO	85
XV.	INTERVALO EN DIAS Y NUMERO DE RIEGOS POR TRATAMIENTO	88

**CUADRO****PAGINA**

<b>XVI.</b>	<b>RELACION SEMANAL. PROMEDIO DE BROTES TIERNOS, PESO POR BROTE Y PORCENTAJE DE HUMEDAD PERMISIBLE</b>	<b>89</b>
<b>XVII.</b>	<b>COMPARACION MULTIPLE DE MEDIAS</b>	<b>115</b>
<b>XVIII.</b>	<b>DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR</b>	<b>116</b>

## INDICE DE FIGURAS.

FIGURA		PAGINA
1.	COLOCACION DEL FILAMENTO ELECTRICO EN LA BASE DEL BULBO.	62-A
2.	COLOCACION DE LA BASE DEL BULBO CON FILAMENTOS ELECTRICOS EN LA SOLDADURA LIQUIDA	62-A
3.	DISTRIBUCION DE LOS FILAMENTOS EN LA BASE DEL BULBO.	62-A
4.	UNION DE LA BASE DEL BULBO CON ALAMBRE ELECTRICO DE DOS POLOS	62-B
5.	MOLDE Y LLENADO CON SOLUCION DE RESINA	62-B
6.	MOLDE Y LLENADO CON YESO	62-B
7.	CURADO DE LOS BLOQUES CON AGUA Y YESO	62-B
8.	ALTURA DE LA ESTRUCTURA DE LA VARILLA Y POSICION DEL POLIETILÉNO EN LOS MICROTUNELES	74-A
9.	POSICION DE LOS MICROTUNELES EN UN SISTEMA DE PRODUCCION INTENSIVO	74-B
10.	DISTRIBUCION DEL HILO DE RAFIA EN LA ESTRUCTURA DE LA VARILLA EN EL MICROTUNEL	74-C
11.	SEPARACION ENTRE MICROTUNELES	74-D
12.	BLOQUE DE YESO Y UBICACION EXPERIMENTAL (TRATAMIENTOS)	80

INDICE DE GRAFICAS.

GRAFICA	PAGINA
1. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN °C., EN EL VALLE DE CUAUTITLAN, EDO. DE MEXICO	53-B
2. COMPORTAMIENTO DE LA p.p. Y EVAPORACION EN mm. EN EL VALLE DE CUAUTITLAN, EDO. DE MEXICO	53-C
3. CURVA DE LA CALIBRACION DE LOS BLOQUES DE YESO TIPO HENDERSON, EN LA PARCELA # 11 DE LA F.E.S. CUAUTITLAN-U.N.A.M.	66-A
4. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL	106
5. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL	107
6. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL	108
7. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL	109
8. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL.	110
9. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL.	111
10. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL	112
11. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL	113
12. RELACION DE LA TENSION DEL SUELO-RENDIMIENTO DE NOPAL.	114

## RESUMEN

El objetivo fundamental de este trabajo fué construir un implemento de bajo costo que se utilizara para la determinación del contenido de humedad en el suelo, como lo son los bloques de resistencia eléctrica; y también para analizar el grado de confiabilidad que éstos arrojan en el registro de las lecturas obrenidas, ya que éste método se sigue utilizando en varias investigaciones sin tener la seguridad de la aproximación a la humedad real del suelo.

Otra parte del trabajo se relacionó con la producción del nopal de verdura en cuanto a la cantidad de agua que éste requiere para la obtención de buenos rendimientos, por lo que se pensó en aplicar diferentes niveles de humedad al suelo en un huerto intensivo de nopal de verdura, seleccionandolo en base a diferentes criterios y aplicando diversos porcentajes que mencionamos a continuación: 24.31%, 18.52%, 16.49%; como humedad 1, 2 y 3; a dos profundidades distintas, 0-20 y 20-40 cm.; para ello se realizaron una serie de posibles combinaciones con estos datos de humedad expresados a su vez en tensión en atmósferas, y con su respectivo testigo.

El sitio experimental de la primera parte de este trabajo fué realizado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, específicamente en el Laboratorio de R.A.S.P.A. (Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera), perteneciente al Centro de Hidrociencias. Chap., México.

La segunda etapa se realizó dentro de los terrenos de la F.E.S. Cuautitlán, U.N.A.M.

Para conocer el grado de confiabilidad y precisión de los bloques de resistencia eléctrica, se procedió a utilizar como complemento y método auxiliar el gravimétrico, que si no es el más eficiente si es el más próximo en cuanto a precisión, además se requirió de la utilización de la estadística para el análisis de resultados y para ello se aplicó en este caso una regresión

para cada uno de los datos tomados semanalmente por tratamiento.

Por otra parte se vió la necesidad de interpretar los resultados en el caso del efecto de los niveles de humedad sobre el rendimiento en el nopal de verdura a través de la utilización de las medias semanales por cosecha y el peso promedio por broto, auxiliándose en este caso de gráficas y polígonos de frecuencia.

En cuanto a los bloques de resistencia eléctrica se notó que se requiere de un conocimiento técnico-científico para fabricarlos y calibrarlos, y que además en cuanto a la precisión que éstos arrojaran en comparación con el método gravimétrico, no fueron significativos a un  $\alpha=0.05$  y a  $\alpha=0.01$ , para cada uno de los datos semanales.

Aunque algunos reflejaron cierta significancia no fueron representativos, dado que intervienen varios factores que los hacen no confiables a la realidad, como son los adáfcos y atmosféricos.

En cuanto al efecto de los niveles de humedad se pudo observar que el que más efecto tuvo sobre el rendimiento es el de 24.31%, ya que en este se manejaba una lámina de riego de 23.76 lts., tanto a 0-20, como a 20-40 cm, considerando los riegos en un intervalo de un mes y medio, dado que el tipo de suelo es pesado y en éste la infiltración es lenta; además se pudo notar que los requerimientos hídricos del nopal son mínimos, pero que éstos son esenciales para la estimulación de la brotación, a pesar de que el nopal no requiere grandes cantidades de agua, en este caso sí le es indispensable, por lo que las tensiones o humedad que se utilicen en futuras investigaciones deben ser cercanas al Punto de Marchitez Permanente para este caso, y en el caso de los bloques de yeso es conveniente no utilizarlos en trabajos en donde el suelo se tenga cercano al Punto de Saturación, ya que éste altera el registro de las lecturas obtenidas.

## 1. INTRODUCCION

Desde hace muchos años se ha considerado que México es el País donde existe una gran diversidad de especies, así como una infinidad de variedades genéticas del género *Oenothera* spp., existiendo tanto en zonas templadas como en zonas tropicales, aunque su adaptabilidad se refleja en mayor grado en regiones áridas, sitios en donde se le puede encontrar en distintas formas. Este género se ha caracterizado por requerir un mínimo de agua para sobrevivir ya que su construcción morfofisiológica así lo ha permitido.

En estado silvestre puede soportar cambios ambientales drásticos como lo son la deficiencia de nutrientes, el ataque de plagas, la escasez y abundancia de agua, etc.

Cuando se le cultiva con fines hortícolas requiere de ciertos cuidados para obtener buenos resultados pues como todo ser vivo al variar su habitat, tienden a responder en forma distinta debido al cambio del medio que la circunda.

En la actualidad el nopal se cultiva con fines comerciales, y es por ello que los productores se han dado cuenta de que este cultivo requiere de cierta cantidad de agua para estimular la brotación, sobre todo cuando el objetivo es la extracción del nopal de verdura. La cantidad de agua que este requiere aún no se ha determinado, ya que por no ser un cultivo básico, se le ha tomado poco interés.

Así como en la alimentación, también se utiliza en la industria para la cual se extrae una gran diversidad de productos, en la época de estiaje, cuando la falta de forraje es grande, se utiliza para alimentar al ganado.

Como podemos ver, esta es un ejemplo del gran potencial vegetal que ofrece esta planta, por lo que es importante mencionar la nobleza que presenta en cuanto a su amplia adaptabilidad al medio ecológico.

Considerando lo anterior notamos que existen plantas que pueden

ser una alternativa al gran problema de la escasez de agua en el agro-mexicano, por lo que surge la pregunta ¿Por qué no se explota a esas plantas?... Es de todos conocido que en la actualidad existe una planeación irracional en la explotación de cultivos, dado que se establecen en zonas en donde escasea el agua, y en muchas ocasiones algunos de ellos son de altos requerimientos hídricos.

En la República Mexicana se riegan aproximadamente 6 millones de hectáreas de diversos cultivos, de las cuales 5 millones son de riego por gravedad y el resto son de riego por bombeo. Se estima que la eficiencia global del riego es del 40%, considerando todos los tipos de pérdida que puedan ocurrir tanto de conducción como de distribución. (Del Valle, 1968)

Desafortunadamente la distribución irregular de los recursos hidráulicos hacen más cara y difícil la construcción de obras de riego para el país, y considerando lo limitado de los capitales, se concluye que es necesario aprovechar mejor la inversión hecha en infraestructura hidráulica, ya que actualmente la eficiencia en el uso del agua es relativamente baja, por lo que si se logra un aumento en la eficiencia, se puede lograr un incremento en la utilidad por área sembrada y regada. (Palacios, 1981)

Una vez conocido el principal problema, nace aquí el interés por elaborar y conocer el uso de una de las herramientas que puedan servir como instrumento para determinar la humedad contenida en el suelo esencial para la planta.

Algunos investigadores han tratado de solucionar este problema con la generación de tecnología que permita determinar la cantidad de agua necesaria para los cultivos.

Para el presente trabajo se analizan varios métodos para la determinación del contenido de humedad en el suelo, con los cuales se podría obtener la tensión en función de la humedad, y se optó por seleccionar a los bloques de yeso, conocidos también como bloques de resistencia eléctrica, dado que su principio se basa en un material absorbente y en la propiedad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica.

Asimismo, se decidió conocer la respuesta del nopal de verdura al ser sometido bajo diferentes niveles de humedad en un sistema de producción intensivo de una zona templada, sistema en el que para producir buenos condimentos es necesaria la aplicación de insumos como lo es el riego, puesto que en la época de mayor producción la precipitación disminuye y con esto el número de brotes tiernos, siendo esta época en la que su comercialización se hace más rentable debido a la gran demanda que existe.

Con ello se conjuga la utilización de los bloques de yeso para analizar la confiabilidad que ofrecen, corroborando su eficiencia con uno de los métodos más utilizados de determinación del contenido de humedad en el suelo, como lo es el gravimétrico.

Este método se podrá comparar con algún otro método que pudiera surgir durante el presente trabajo.

## 1.1 OBJETIVOS.

### 1.1.1 Objetivos Generales

Conocer las fases de la elaboración y calibración de bloques de resistencia eléctrica (tipo Henderson modificado), así como analizar el grado de aproximación que estos tienen en la determinación del contenido de humedad del suelo.

Determinar el rendimiento de nopal de verdura (*Opuntia spe*), bajo un sistema intensivo de producción, con tres diferentes niveles de humedad a dos profundidades.

### 1.1.2 Objetivos Particulares

Realizar de manera práctica, la fabricación y calibración de bloques de resistencia eléctrica.

Determinar cuál es la relación rendimiento/tensión del suelo en el cultivo de nopal de verdura.

Establecer cuál tratamiento de nivel de humedad es el más adecuado para una óptima producción de nopal de verdura.

Evaluar cuál es la eficiencia de los bloques de resistencia eléctrica para determinar el contenido de humedad del suelo.

## 1.2 HIPOTESIS

- Los bloques de yeso tienden a tener un cierto grado de error en cuanto al porcentaje de humedad (Ohms), obtenido en el puente de Bouyoucoucous, en comparación a otros métodos de determinación del contenido de humedad en el suelo (Método Gravimétrico).
- La curva de humedad elaborada en función de la C.C. (Capacidad de Campo) y el P.M.P. (Punto de Marchitez Permanente), dará referencia de la calibración de los bloques de yeso.
- En función de los niveles de humedad que se aplican, el de menor porcentaje de humedad es donde se obtendrán los mayores rendimientos por unidad experimental de nopal de verdura (Opuntia ficus indica), y los de mayor nivel de humedad reportarán menor rendimiento.
- A mayor profundidad del suelo (20-40 cms.), mayor será la cantidad de agua a aplicar y la tensión tenderá a disminuir, por lo tanto los rendimientos en nopal de verdura (Opuntia ficus indica), se verán reducidos notablemente por el exceso de humedad en suelos arcillosos (muy impermeable), mientras tanto a profundidades menores (0-20 cms.), el proceso será contrario.
- Los bloques de resistencia eléctrica son un método de medición de humedad, eficiente y económico.

## II REVISION DE LITERATURA

En la actualidad uno de los problemas más graves es el uso irracional del recurso agua, ya que se aplican grandes cantidades a los cultivos, sin saber cuales son sus necesidades y en que momento la requieren.

Son muy pocos los cultivos en los que se ha estudiado la relación entre la humedad del suelo y el comportamiento de la planta, los resultados de los estudios de esta interacción han reportado diferentes comportamientos dependiendo del tipo de suelo y de las condiciones climáticas existentes en cada zona.

Es por ello que desde hace algunos años diversos investigadores han tratado de crear algunos métodos para conocer los niveles de humedad existentes en el suelo; Martinez (1980) clasifica estos métodos de la siguiente manera:

- a) Directos
  - Método del tacto
  - Método gravimétrico
  
- b) Indirectos.
  - Bloques de yeso
  - Tensiómetros
  - Aspersor de neutrones
  - Medidor rápido de humedad Speedy

Este trabajo tratará basicamente de uno de los métodos indirectos como lo son los Bloques de yeso (Bloques de resistencia eléctrica), que han sido los más utilizados debido a su fácil manejo y operación.

## 2.1 BLOQUES DE RESISTENCIA ELECTRICA.

Los materiales y las técnicas para la construcción de estos aparatos medidores de la humedad del suelo han sufrido cambios a través de los años, aunque su funcionamiento se basa en el mismo principio, esto es la propiedad que tiene el agua para conducir a la corriente eléctrica.

En la actualidad, a pesar de que se ha estado trabajando con ellos, no se tiene una metodología completa para su construcción, ni materiales especiales a utilizar. Por ejemplo, Martínez (1971) indica que los bloques de yeso tipo Henderson, tienen 8 electrodos unidos de 4 en 4 y distribuidos en forma radial, con el objeto de que las líneas de corrientes no salgan del bloque.

Por otro lado, Rendón (1974), menciona que los bloques de yeso constan de un par de electrodos de grafito recubiertos por un material absorbente, dichos electrodos tienen una separación de 1 centímetro y están alojados en una placa de estirono; estas placas poseen una separación de 2 cms. El material absorbente que se encuentra rodeando a los electrodos está cubierto por un molde de arcilla cocida, a fin de evitar el reblandecimiento de la pasta de yeso y promover en unidades una vida útil mayor.

Los electrodos conectados al cable dúplex se sellan en la parte superior con resina poliéster tratada con catalizador y acelerador para constituir un material absorbente y aislante resistente. La parte superior de los electrodos se une al cable dúplex No. 18 por medio de una soldadura de estaño.

### 2.1.1 Historia

A través de los años diversos investigadores han hecho grandes aportaciones al estudio de los bloques de yeso para determinar el contenido de humedad en el suelo, de las cuales son de destacar las siguientes:

Whithey, Gardner y Brigs (1898), mencionan un método para la determinación de humedad, que se basa en la propiedad que tiene el agua del suelo para conducir la corriente eléctrica, la cual variaba en proporción inversa al contenido de humedad. (Martínez, 1971)

Donahue et. al. (1981) menciona que en 1940, G.J. Bouyoucos de la Universidad Estatal de Michigan presentó un bloque con dos electrodos fijos y separados a una distancia fija dentro del bloque, los bloques se introdujeron en el suelo y se midió la conductividad (o resistencia) entre los electrodos con un puente de Wheanstone.

Bouyoucos y Mick (1940), publicaron un trabajo en el cual se hacía la comparación de varios materiales absorbentes empleados en la construcción de bloques; estos investigadores encontraron que si se introducen dos electrodos en una pasta de material absorbente y este conjunto se introduce a su vez en el suelo, como ya lo había realizado Bouyoucos (1940), la resistencia eléctrica que presenta este bloque al paso de la corriente eléctrica es inversamente proporcional al contenido de humedad de la pasta. Después de haber hecho la corrección necesaria por temperatura, se encontró una buena relación entre resistencia-humedad, y al hacer las mediciones con un puente de Wheatstone modificado, se encontró que estas unidades podrían cubrir el rango de humedad entre el porcentaje de Marchitamiento y la Capacidad de Campo en los suelos. (Del Valle, 1968)

## 2.2 EL NOPAL

### 2.2.1 Historia

El Nopal (*Opuntia spp.*), a lo largo del desarrollo histórico de nuestro país, ha jugado un papel muy importante, presentándose como un forjador de nuestra cultura, ya que influyó de manera determinante para consolidar la estructura de la sociedad

actual, esto se refleja en las grandes obras arqueológicas como son: Códicos, Pintura, Construcción, Escultura, Utensilios de Cerámica, etc... que de alguna manera nos legaron nuestros antepasados.

El grupo Mexica fué uno de los grupos nómadas del norte de México, cuya área de sedenterización estuvo influenciada probablemente por la presencia de nopaleras. Este hecho parece estar evidenciado en la mitología de su asentamiento en el Valle de México.

Según sus profecias, los Mexicas debían establecerse después de una larga peregrinación en el sitio donde encontrarán un tenochtili ó nopal de los podregales, éste debía ser tan grande, que en él habitara un águila. (Colonga, 1984)

Pero su influencia se ve reflejada muchos años atrás, principalmente por el hombre mesoamericano, desde 7,000 años A.C., vestigios arqueológicos demuestran este hecho, ya que en el Valle de Tehuacán aparecen restos de Opuntia esencialmente en el excremento humano, es por ello que se cree que por las características propias de la semilla la hicieron permanecer en diferentes estratos vegetales durante bastante tiempo y de esta manera también dispersarse.

Algunos autores opinan que debido a su gran importancia como complemento alimenticio. Opuntia spp. junto con el maguey probablemente fueron las plantas apomíticas que se cultivaron en gran escala en este valle, ubicando un posible inicio de su establecimiento aproximadamente hacia 6,000 años A.C., pero esto no ha sido demostrado.

Antes del descubrimiento de América las distintas tribus que habitaban el antiguo Anáhuac, especialmente los nahuas daban a las cactáceas un lugar preferente en su vida económica, social y religiosa. (Fernández, 1949)

No sólo el nopal fué determinante en la vida de nuestros antepasados, sino las cactáceas en general, dado que el nopal junto con otras pertenecientes a la misma familia, eran utilizadas en ritos religiosos, magia, medicina, alimentación, así como en la construcción, aprovechando las sustancias mucilaginosas que en combinación con otros elementos formaban un material cementante.

De los usos más sobresalientes en la historia fué como planta de ornato, pues grandes personajes lo ubicaron en un lugar privilegiado dada su hermosura, y dado interés de éstos en la botánica, fundaron grandes jardines como lo fueron: Totzcutzingo, Tenochtitlán, El Peñón, Oaxtepec, Atlixco e Ixtapalapa.

En la iconografía se representan todas estas cualidades potenciales del nopal, observándose representaciones como la de Tenochtitl ó tuna de piedra plasmada en el escudo de la gran Tenochtitlán y del actual nacional, a la vez se le antepone como una tuna divina.

La palabra nopal con que designamos a la planta cuyas hojas carnosas y frutos sirvieron de alimento a los primeros pobladores, consta de voces aztecas como "nopalli", que significa nopal y "nochtli", que significa tuna. (Salgado, 1981)

Como vemos, a partir de estos vocablos se les dió el nombre a poblaciones que surgieron con la fundación de nuevas comunidades, para de esta manera honrar a la planta de la tuna divina, y aún en la actualidad se sigue manejando esta terminología para algunos poblados de la República Mexicana.

La mayor parte de los autores recaen en la identidad del significado de la palabra nopal, aunque algunos muestran una ligera diferencia.

Lo cierto es que a la llegada de los españoles el nopal ocupaba la mayor parte de las actividades de los Mexicanos, ya que la recolección de sus frutos predominaba en la gran población chichimeca.

En los siglos XVII y XVIII se establecieron en Baja California y zonas adyacentes, plantaciones del género Opuntia ficus-indica y Opuntia Mexicana emparentados directamente.

Durante la conquista de México los españoles observaron todas estas bondades del nopal, por lo que la llevaron a España en donde se propagó a toda la costa del Mediterráneo, adaptándose con mayor facilidad a las condiciones ecológicas de Portugal, Italia, Grecia y todo el norte de Africa, en los cuales hoy se le cultiva dándole un aprovechamiento integral, y en otros casos se le combate debido a que se comporta como una maleza. En México, a pesar de su enorme riqueza como recurso natural se le ha relegado haciendo caso omiso a su potencial, siendo que este cultivo podría ser una alternativa a las diferentes condiciones ecológicas. (Sánchez, 1979).

### 2.2.2 Origen

En general, las cactáceas son originarias de zonas áridas y semiáridas, aunque es una planta que se encuentra en diferentes tipos de clima y diversidad de suelos que existen en el país, dado que sus características morfofisiológicas permiten que ésta se adapte favorablemente.

El genocentro de las cactáceas ha sido un tema controvertido desde hace años, ya que cada autor expone sus investigaciones y por ello se mencionan algunas opiniones al respecto.

Colonga (1984), manifiesta que una probable hipótesis en cuanto al origen de las cactáceas pudo haber sido una planta foliada en extinción, y que a estas se les encontraba en el Caribe.

Según la hipótesis de Buxbaum (1969), citado por Bravo (1978), las cactáceas evolucionaron como tales a partir de posibles ancestros africanos después de que el Continente Americano quedó separado de Africa, por lo que no se le dió oportunidad de su dispersión.

Algunos botánicos (Gray, 1880; Schumann, 1899), citados por Bravo (1978), mencionan que las opuntíoides, al igual que otros grupos que hoy constituyen la flora xerófita característica de la región septentrional de México y el sureste de los Estados Unidos, adquirieron gradualmente sus características xerófitas a partir de la flora mesófila que se encontraba en esta área a fines del terciario y que fué modificándose al pasar de un clima tropical a uno árido.

Britton y Rose (1963), indican que ninguna de las especies que hoy se cultivan se conocen en estado silvestre, pero todas sin lugar a dudas se originaron de la América Tropical y todas podían representar razas inermes de plantas aquí incluídas en la serie *Streptacantha* (Colunga, 1984). A su vez Griffith (1914), postuló que *Opuntia mexicana* se encuentra más cercana al tipo silvestre y que *Opuntia ficus-indica* quizá se originó de ella bajo cultivo. (Benson, 1982)

La primera obra que hace alusión al género es la obra occidental "Historia General y Natural de las Indias", escrita en 1535 por Hernández de Oviedo y Valdéz, en la cual el primer nombre que recibieron fué opuncias, dado por Malthiolo en 1565.

En el siglo XIX importantes botánicos y especialistas (Decandolle, 1828; Pfeiffer, 1837; Lemaire, 1839), citados por Bravo (1978), inician la clasificación, pero las ideas filogenéticas y biogeográficas no se toman en cuenta en la clasificación debido a que existe discrepancia. Ya en el presente siglo, Britton y Rose, 1919-1923; Backenberg, 1958-1963; Buxbaum, 1958; citados por Bravo, 1978, realizan una clasificación tomando en cuenta estos caracteres.

La opinión de los diversos botánicos en la actualidad es que la taxonomía de las cactáceas es muy complicada, dada la enorme sinonimia, concepciones de los géneros y especies, así como el hecho de que es una planta que se encuentra en proceso activo de

evolución, lo que hace difícil su diferenciación para determinar especies y géneros.

Asimismo se menciona que la variación de sus especies puede deberse no sólo a esos cambios genéticos producto de la evolución, sino también a las variaciones de las condiciones ambientales, las cuales pudieron afectar la estructura de una misma planta.

COCODER (1987), da una conclusión de todas estas opiniones, diciendo que "se reporta como centro de origen a México por poseer una gran diversidad de especies". Esto es debido a que México cuenta con 61 géneros de un total de 122, distribuidos en diferentes partes del País, y de éstos, el género *Opuntia* cuenta con aproximadamente 100 especies; Swingle indica "esta familia comprende unos 100 géneros y 1000 especies ó más, casi exclusivas del Continente Americano y particularmente abundantes en México y Centroamérica". (Bazan, 1965)

### 2.2.3 Importancia Económica

Como cacto arbustivo originario de América, el nopal ha sido una planta cuya existencia para los habitantes de zonas áridas y semiáridas ha representado un recurso importante en época de estiaje, y como una fuente de ingreso en el transcurso del año, porque a pesar de su gran rusticidad y pocas exigencias como cultivo, se extraen productos y subproductos.

Actualmente en nuestro País se encuentran distribuidas diversas especies de esta planta en una superficie aproximada de 2.3 millones de hectáreas, de las cuales dependen una gran número de productores que consumen y comercializan su fruta en fresco, elaboran subproductos del mismo, aprovechan los brotes pequeños como verdura y utilizan la planta como forraje para el ganado en época de sequía. (Cruz, 1981)

### 2.2.3.1 Alimentación

En cuanto a los productos y subproductos elaborados que se pueden consumir están los siguientes que de alguna manera son parte de la dieta alimenticia del mexicano:

- a) Nopalitos y tunas en estado fresco.
- b) Enlatados con diversos productos hortícolas.
- c) Nopalitos en vinagre.
- d) Nopal deshidratado y molido para sopa.
- e) Nopal molido para forraje.
- f) Nopal y cáscara de tuna cristalizada.
- g) Extracción de aceite y harina de la semilla.
- h) Refresco de tuna.
- i) Queso de tuna.
- j) Mielos y mermeladas diversas, jabones, shampoo.....

En la ganadería, según análisis realizados por la Dirección General de Agricultura, el nopal tiene un 90% de agua, esto explica porque el ganadero se vale de esta planta en época de secas, cuando escasea el forraje, con ello se alimenta a ovinos madres en el período de parto, ya que éste tiene la característica de poder ensilarse.

En algunos estados de la República Mexicana, como lo son Nuevo León y Tamaulipas, se acostumbra suministrar con el nopal a los ovinos aumentando con ello la lanolina, grasa natural que tiene gran demanda en el mercado, además este vegetal al suplementarse al ganado lechero corrige la coloración que se presenta en la mantquilla, haciéndola más uniforme. El aporte de nutrientes radica principalmente en el calcio, fósforo, sodio, vitamina c y fibra. (Villegas, 1968)

Bazan (1968) por su parte reporta en su trabajo efectuado sobre la determinación de minerales en el nopal, que los factores básicos que influyen en el ganado para aumentar en éste la producción láctea ha sido la presencia de elementos como son Fe, Cr, Zn, Ca, Ba, Mg.

A pesar de que el nopal es pobre en nutrientes y en comparación con la alfalfa achicalada, reduce favorablemente el costo de la alimentación en ganado, no habiendo grandes diferencias en la producción de leche o rendimiento, por lo que se utiliza como suplemento en la dieta alimenticia del ganado. (Dávila, 1967)

#### 2.2.3.2 Medicinal

Importantes aportaciones ha legado en este aspecto la planta en la cura de enfermedades a partir de su consumo, hecho que se ha venido suscitando desde nuestros antepasados. Los tallos o pencas del nopal (*Opuntia spp.*) se ha utilizado desde el México Prehispánico como un remedio popular contra la diabetes mellitus. A partir de la década de los setentas investigadores de diversos países ante contundentes pruebas han realizado y publicado diversas e interesantes resultantes de estudios, tanto en animales de laboratorio como en individuos sanos, diabéticos, obesos y con hiperlipidemias, los estudios publicados a nivel mundial demuestran la efectividad de su ingestión previa a los alimentos, pues produce significativas disminuciones en glicemia, colesterol, triglicéridos y peso corporal. (Morales, 1988)

Hernández (1988), coincide con este hecho, ya que él reporta que en el estado de San Luis Potosí, "en el transcurso del trabajo de campo ha encontrado información repetitiva del conocimiento tradicional entre los pobladores de estas regiones sobre el aprovechamiento de *Opuntia joconoxtle* (Joconoxtle); *Opuntia streptocantha* (cardon); *Opuntia lubricantha* (cardonche); y de *Opuntia nopalillo*, en la práctica medicinal rural con especial atención en usos indicados como antipiréticos, antiinflamatorios, analgésicos, antiospasmódicos de aplicación tópica y cataplásmicos, tanto en personas como en animales".

Todo esto lleva a pensar el por qué a pesar de todas estas cualidades, no se le ha dado el lugar que debiera, sino que únicamente se le cultiva en su mayoría como una planta, sin un

propósito bien establecido como podría ser su comercialización a nivel intensivo.

### 2.2.3.3 Industrial

La utilidad de esta planta se da desde la forma más rústica, hasta la más compleja, la aplicación rústica se ve reflejada en el uso de nuestros ancestros, de tal manera que con ello se empezó a dar origen a los colorantes a partir de la cochinilla Dactylopius coccus. El cultivo de la grana-Cochinilla fué la principal actividad del pueblo de México en la época prehispánica, llegando a ocupar el tercer lugar dentro de las explotaciones después del oro y la plata.

Actualmente el insecto aún se cultiva en algunas regiones del estado de Oaxaca (Valles Centrales, Mixteca y Sierra Juárez), en las cuales se están desarrollando programas gubernamentales tendientes a impulsar el cultivo y aprovechamiento del insecto del cual se obtiene el ácido cármico, un producto de gran demanda en el mercado internacional, puesto que es el sustituto de las anilinas rojas de las que se ha comprobado su acción carcinógena en alimentos, cosméticos, medicamentos y textiles. (Típos, 1988)

Higaroda et. al. (1988), en sus investigaciones sobre aislamiento, purificación y caracterización fisicoquímica de la pectina del nopal (Opuntia ficus-indica), establece que "es un gelificante ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la elaboración de confituras". Además propone que "en épocas de sobreproducción este vegetal podría ser utilizado para la extracción de pectinas".

### 2.2.3.4 Ecológico

Este recurso dentro del aspecto ecológico es de gran utilidad ya que en su sistema radicular tiene la capacidad de retener el suelo, lo cual disminuye el grado de erosión. Proporciona a

otras plantas un ambiente adecuado para su desarrollo debido a la humedad que guardan en el suelo. A otras plantas les sirve como cortinas rompevientos, mejora la permeabilidad y por último, se piensa que es un vegetal que tiene gran capacidad para asimilar el dióxido de carbono, por lo que colabora en el mejoramiento ambiental.

#### 2.2.4 Distribución Geográfica

A nivel mundial esta planta se ha adaptado a una gran diversidad de ecosistemas, a excepción de las zonas frías. Brom (1970), indica que las cactáceas se encuentran distribuidas desde la provincia de Alberta en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina, esta distribución quizá se haya dado por las características que posee la semilla, la cual puede ser ingerida por los animales, principalmente aves, sin que sufra mucho daño dado que la testa es muy dura.

Narro (1970), menciona que "el Nopal (*Opuntia spp.*) se encuentra distribuido en casi todo el mundo", lo cual hace que en la actualidad se esté realizando mejoramiento genético para su explotación con fines ganaderos, es decir para la producción de forraje, los países donde básicamente se busca este tipo de aprovechamiento son: Africa, Madagascar, Argelia, Túnez, España, Italia, India, Argentina, Brasil, Guatemala, Estados Unidos y Japón, y en otros países se busca combatirla, como es en Australia, Indonesia, ya que aquí por ser una planta exótica se está manifestando como maleza. (Borrego, 1986)

##### 2.2.4.1 Distribución Geográfica en México

La mayor densidad de géneros y especies corresponde a los terrenos secos y cálidos de las zonas tropicales y subtropicales que tienen escasa elevación sobre el nivel del mar, zonas áridas y semiáridas del norte del País, considerando que dada su adaptación a las condiciones climáticas se le puede encontrar también en zonas templadas.

En sí, la distribución de las cactáceas en general en nuestro País no se puede precisar porque todavía existen zonas que no han sido estudiadas.

Marroquín (1964), distribuye a las zonas nopaleras del centro-norte de México en 3 regiones principales. (Borrego, 1986)

1. Zona Nopalera Potosina-Zacatecana.- Con extensiones que incluyen partes territoriales de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato.

2. Zona Nopalera del Noreste de México.- Comprende la región norte de la planicie costera nororiental (norte de Tamaulipas y oriente de Nuevo León).

3. Zona Nopalera Difusa.- Es la región más amplia de las 3, aunque con notoria menor densidad en individuos por hectárea. Se extiende desde las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

Borrego (1986), realiza la siguiente distribución de *Opuntia* en la República Mexicana. (Cuadro 1)

DISTRIBUCION DE LAS PRINCIPALES ESPECIES  
DEL SUBGENERO PLATYOPUNTIA EN MEXICO.

Nombre Científico	Nombre Común	Distribución
<i>Q. pumila</i> Rose	Cardo, Nopal Cardoso	Oaxaca y Morelos
<i>Q. pubescens</i> Wendlan		Todo el País.
<i>Q. hoffmanni</i> H. Bravo		Puebla.
<i>Q. decumbens</i> Salm-Dick		Guerrero, Puebla,
<i>Q. depressa</i> Rose		Oaxaca, Sinaloa.
<i>Q. lubricata</i> Griffith		Puebla y sur
<i>Q. basilaris</i> Engelmann	del País.	Sonora, B. California
		Norte de Sonora y
		Baja California.

Nombre Científico	Nombre Común	Distribución
<i>O. microdasy</i> Lehm Pofffer.	Nopal cogador	Hidalgo, Durango, N.L., Zacatecas, S.L.P., Aguasca- lientes, Coahuila.
<i>O. macresys</i> Griffith		Coahuila.
<i>O. rufida</i> Engelmann		Durango, Chihuahua, Coahuila.
<i>O. pyracantha</i> E.		Baja California.
<i>O. comoduencia</i> B. y R.		Baja California.
<i>O. megarrhiza</i> Rose		San Luis Potosi.
<i>O. pottsi</i> Salm-Dick		Chihuahua
<i>O. setispina</i> Engelmann		Chihuahua
<i>O. tenuispina</i> Engelmann		Chihuahua
<i>O. macrocarpa</i> E.		Chihuahua
<i>O. gossoliniana</i> Weber		Baja California, Sonora.
<i>O. azurea</i> Rose	Nopal coyotillo	Durango, Zacatecas, S.L.P., Chihuahua
<i>O. phacocantha</i> E.		Chihuahua.
<i>O. engelmanni</i> Salm-Dick		Sonora, Durango, Chihuahua.
<i>O. discata</i> Griffith	Nopal Rastrero	S.L.P., Zacatecas, Aguascalientes.
<i>O. fulginosa</i> Griffith		Jalisco, Michoacán.
<i>O. rastrosa</i> Weber	Nopal rastrero	S.L.P., sur de N.L.
<i>O. chlorotica</i> E.		Sonora, B. California
<i>O. dilloni</i> (Gawler) H.		Veracruz.
<i>O. tapona</i> E.	Tuna tapona	S.L.P., Zacatecas, Aguascalientes.
<i>O. lindheimeri</i> E.		Durango, Zacatecas, Coahuila, N.L., Tamaulipas.
<i>O. cantabrigiensis</i> L.	Cuija	S.L.P., Hidalgo, Querétaro.
<i>O. pyriformis</i> Rose		Zacatecas.

<i>O. duraguensis</i> B. y R.	Nopal Tapón	Morelos, Durango. centro del país.
<i>O. affinis</i> Griffith		Oaxaca.
<i>O. maudougalliana</i> Rose		Puebla, Oaxaca.
<i>O. yucatana</i> Weber		México, Guerrero.
<i>O. wilcoxii</i> B. y R.		Sonora, Sinaloa.
<i>O. tomentosa</i> Salm-Dick	Nopal S. Gabriel	Oaxaca, Puebla, Valle de México, Mesa Central.
<i>O. spraguei</i> G. Ortega		Costa de Sinaloa.
<i>O. illeyi</i> Griffith	Nopal Guiloncha	Zacatecas, Aguasca- lientes, S.L.P.
<i>O. leucotricha</i>	Duraznillo blanco y colorado	Centro del país, Morelos, Durango.
<i>O. orbiculata</i> Salm-Dick		Norte del país.
<i>O. xachari</i> Weber	Nopal Crinado	Guerrero.
<i>O. pallana</i> Wingart		Chihuahua.
<i>O. pilifera</i>	Nopal Crinado	Puebla, Oaxaca.
<i>O. ficus-indica</i>	Nopal de Castilla	Casi todo el país.
<i>O. undulata</i> Griffith		Mesa Central, Aguas- calientes, Zacate- cas, S.L.P.
<i>O. spinulifera</i> Salm-Dick		Casi todo el país.
<i>O. lasiacantha</i> Pfeiffer		Mesa Central, S.L.P., Zacatecas, Aguascalientes.
<i>O. hypsiacantha</i> Weber	Chaveña, Cascatón	México, S.L.P., Zacatecas, Aguas- calientes, Puebla, Oaxaca.
<i>O. streptacantha</i> Lemaire		Aguascalientes, S.L.P., Zacatecas, Querétaro, Durango.
<i>O. amyctea</i> T.	Tuna de Alfayucan	Hidalgo, México, S.L.P., Zacatecas, Aguascalientes, Tamau- lipas, Coahuila.

Nombre Científico	Nombre Común	Distribución
<u>O. megacantha</u> Salm-Dick	Nopal de Castilla	ZacateNal., Querétaro, Hidalgo, Mesa Central.
<u>O. robusta</u> Wendland	Camuesa	Centro del País, Zacatecas, Aguascalientes.
<u>O. guerrana</u> Griffith	Tapón	S.L.P., Hidalgo, Zacatecas, Aguascalientes.
<u>O. cha[eyi</u> B. y R.	Sacasíl	Zacatecas.

HZD (1971); Marroquín et. al. (1964) y CODAGEM (1979)

CUADRO 1: Distribución de las Principales Especies del Subgénero *Platyopuntia* en México.

Este cuadro da una idea de la amplia distribución en el Territorio Nacional, pero algunos autores lo clasifican en cuanto a su distribución en base a sus características.

Lopez et.al. (1988), expresa al respecto: "En nuestro territorio los nopales se encuentran ampliamente distribuidos en cuanto a su abundancia, sus características fisiológicas y usos se pueden reconocer cuatro grandes zonas nopaleras que son:

1. Zona Centro-Sur.- Que comprende los estados de México, Puebla, Querétaro y Oaxaca, caracterizado por nopales de porte alto.
2. Zona Altiplano.- Incluye los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, y en menor proporción Aguascalientes, Durango, Guanajuato y Jalisco con especies fruteras de porte arbóreo y arbustivo.
3. Zona Norte (Desierto Chihuahuense).- Comprende los estados del norte de México y se caracteriza por especies de porte rastroso y arbustivo con uso forrajero.
4. Zona de la Planicie Costera del Golfo.- Comprende el norte de México, con especies forrajeras de porte arbustivo.

Como vemos, en casi todo el territorio nacional está presente este vegetal, pero los diversos investigadores lo ubican acorde a la utilidad económica, pero como sabemos estos son únicamente algunas de las especies que se tienen en lista, pero si se clasificaran por géneros, no se alcanzarían a enumerar más que en un compendio, es por ello que sólo se presentan las del género más importante como lo es *Opuntia*.

#### 2.2.4.2 Regiones Productoras de Nopal de Verdura.

Las zonas productoras de nopal de verdura son pocas, dado que el costo de establecimiento de un huerto con fines comerciales es muy elevado.

En México la producción de verdura a partir del nopal se localiza en mayor grado en el centro del país, destacando como los mayores productores las localidades de Milpa Alta, D.F.; San Martín de las Pirámides, estado de México; Tecamachalco, Puebla; entre otros. (Vázquez, 1981)

Una de las regiones no potenciales la representa Tlaxcalcingo, Puebla; en donde se maneja propiamente la variedad Atlixco. Todas estas regiones constituyen los centros que abastecen al mercado en la época de mayor demanda.

#### 2.2.5 Clasificación Taxonómica.

Dentro de la familia de las cactáceas se encuentra el nopal, y el género más importante lo constituye *Opuntia*, el cual abarca varias especies. A la vez este género se subdivide en dos subgéneros: *Cylindropuntia*, que comprende a *Opuntias* de forma cilíndrica, como órganos; y el *Platyopuntia*, que comprende a las *Opuntias* de forma aplanada. (Salgado et. al., 1984)

Para la familia de las cactáceas la clasificación botánica no ha sido sencilla, dado que ésta se encuentra en una sucesiva evolución, por el gran polimorfismo que determina la hibridación (polinización cruzada), y con ello el surgimiento de nuevos híbridos, asimismo existen diferencias considerables en las

variedades tetraploides, así como en la sexualidad existiendo las condiciones dioicas y hermafroditas.

Se reconocen aproximadamente más de 60 especies mexicanas del género *Opuntia*, tal cifra da una idea de la gran diversidad y la dificultad para separarlas y ordenarlas taxonómicamente. En la familia existen más de 100 géneros y 1000 especies, cosa que hace pensar que aún no se ha llegado a recopilar toda la información taxonómica de esta familia.

La familia comprende 3 subfamilias:

1. *Pereskioideae*: con hojas planas, algo carnosas, espinas y flores en panículas y un sólo género, *pereskia*.
2. *Opuntioideae*: suculentas con tallos usualmente aplanados y articulados, hojas pequeñas y cáducas, aréolas gloquidiadas y flores rotiformes; los géneros más conocidos son *Opuntia*, *perisklopsis* y *nopalea*.
3. *Ceroideae*: suculentas hojas reducidas a escamas diminutas, aréolas singloquidas, flores (excepto en *Rhipsalis*) en embudo cratiforme. (Lawrence, citado por Borrego, 1986)

En cuanto a la subfamilia *Opuntioideae*, Borrego (1988), indica que son arborescentes o arbustivas, y hasta rastreras; tallos cilíndricos, claviformes, casi globosos o en cladodios, mas o menos ramificados; hojas con limbo pequeño, cilíndrico subulado y caduco, sólo en *perisklopsis* es laminar aunque carnosos; tubérculos más o menos prominentes, aréolas circulares hasta elípticas con fieltro, pelos, glóquidas y espinas, las espinas son más o menos largas y delgadas, a veces con vaina papirácea, flores diurnas o vespertinas, sésiles, una en cada aréola, naciendo hacia las extremidades de los tallos; ovario infero, pericarpio con pedarios más o menos prominentes con aréolas que llevan glóquidas y en ocasiones espinas; receptáculo corto; perianto rotáceo regular; fruto seco o carnosos a veces proliferos, semillas de color de lino o negras, discoides con arillo muy duro, globosas y pilosas en *perisklopsis*; de embrión curvo, cotiledones grandes y perisperma bien desarrollado.

### Género Opuntia.

La descripción del Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas (1971), incluye especies que están provistas de troncos bien definidos y casi siempre ramosos desde la base, con ramas tendidas o prostradas; por lo general sus raíces son fibrosas; artículos cilíndricos o discoides semejantes a raquetas, carnosas, leñosas y con costillas; las aréolas llevan espinas, glóquidas, pelos, yomas espirales y a veces hojas pequeñas, cilíndricas, caducas; las espinas son cilíndricas o aplanadas, desnudas o provistas de vainas; cada aréola florífera produce por lo general una sola flor; los pétalos se encuentran ampliamente extendidos y son de color amarillo, verdoso, rojo ó púrpura, pudiendo tener todas las tonalidades de esos colores; los estambres son más cortos que los pétalos; el ovario es multiovulado y su envoltura está provista de aréolas con glóquidas; el fruto es una baya carnosa, esférica y ovoide, desnuda o espinosa y contiene semillas aplanadas de testa dura de color claro.

El género se subdivide en dos subgéneros: el *Cylindropuntia* (cladodios cilíndricos) y el *Platyopuntia* (artículos planos). El primero comprende a las especies de ramas delgadas, llamadas *tasajillo* y *alfiletillo*. En general estas especies no tienen importancia económica, pero se usan en prácticas de conservación de suelos y para la formación de setos contra animales y personas, ya que al ser muy espinosas el ganado no las destruye.

Los *Platyopuntia* representan los nopales cultivados por excelencia y también incluye especies silvestres cuya fruta tiene amplia aceptación entre la población regional, constituye la materia prima para algunas industrias. Asimismo este subgénero abarca las especies forrajeras de mayor significación aunque comprende algunas otras que no tienen importancia para cualquier propósito. (Borrego, 1988)

La taxonomía más usada para la clasificación de las cactáceas es

el sistema de Britton y Rose, el cual clasifica a las Opuntias, de la forma siguiente: (Bravo, 1978)

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophyta
División	Angiosperma
Clase	Dicotyledonae
Subclase	Dialipetalae
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Tribu	Opuntiae
Género	<u>OPUNTIA</u>
Especie	<u>Opuntia ficus-indica</u>

De acuerdo con Britton y Rose, la clasificación botánica de la tuna cardona, Opuntia streptacantha es la siguiente: (Velázquez, 1979)

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophyta
	siphonogama
División	Angiospermae
Clase	Dycotyledonae
Subclase	Dialipetalae
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntiae
Género	Opuntia
Subgénero	<u>Platyopuntia</u>
Especie	<u>streptacantha</u>

Esta última clasificación se menciona dado que los botánicos reúnen a las opuntias en series y le corresponde como agrupación superior a la serie XVI streptacanthae (Britton y Rose); en donde se reúne a las especies en agrupaciones por su similitud y semejanza, y afinidades en sus características genéticas, anatómicas, fisiológicas y morfológicas, perteneciendo a esta

serie todas aquellas especies de frutos comestibles y agradables.

#### 2.2.5.1 Especies para Verdura.

La producción que se puede tener en la explotación de nopalito es variable de acuerdo al manejo que se le aplique tanto en un sistema de producción tradicional, como en uno intensivo, aunque en este último con los insumos necesarios se pueden llegar a producir de 20-25 kgs. por metro cuadrado.

Las especies más utilizadas para la producción de nopalito son las siguientes:

Nopal cardón	<u>Opuntia stroptacantha</u>
Nopal tapon	<u>Opuntia robusta</u>
Nopal Duraznillo	<u>Opuntia leucotricha</u>
Nopal manso	<u>Opuntia megacantha</u>
Nopal común	<u>Opuntia ficus-indica</u>
Nopal Joconoxtle	<u>Opuntia Joconoxtle</u>
Nopal chaveño	<u>Opuntia hyptiacantha</u>
cascarón, cadillo	

Barrientos (1981), menciona que la variedad para forraje se ha designado Copena F-1, las variedades potenciales pertenecen a las especies Opuntia ficus-indica y Opuntia robusta. Las variedades para verdura son muy escasas pero de hecho en la actualidad se están sacando nuevas prácticas de manejo, así como la realización de mejoramiento genético para lograr mayor producción.

Las especies que normalmente se usan para la producción de verdura son Opuntia ficus-indica y Opuntia ondulata, pero se puede afirmar que todas las especies de nopal silvestre o cultivadas son aptas para el consumo como verdura fresca. (Barrientos y Becerra, citados por López M., 1988)

A continuación se mencionan algunas de las variedades más utilizadas para la explotación comercial, con sus respectivas características.

Var. Tlaconopal.- (*Opuntia inermis*). produce brotes carnosos y con muy poca espina y tiene la ventaja de que su sabor no es agrio. (García)

Var. Copena V-1.- Se ha seleccionado principalmente por su buena capacidad para la producción de brotes suculentos, sin espina, sin problemas de acidez y poca baba, sus brotes presentan resistencia a heladas en periodos de retorno largos en invierno. (Barrientos)

Var. Copena F-1.- Es una variedad de triple propósito (verdura, fruta y forraje), cuyos brotes son más delgados que los del tlaconopal, presenta pocas espinas, poca baba y su sabor no es agrio, produce nopal de excelente calidad. (García)

Var. Italiana.- Es una variedad que se ha adaptado favorablemente a las condiciones de la región de Milpa Alta, D.F., los brotes son de buena calidad, con un mayor número de espinas que las copenas, exclusiva para verdura y elevado rendimiento, por la alta densidad de población y abundante aplicación de materia orgánica por unidad de superficie, presenta sabor agrio y poca baba.

Var. Atlixco.- En la zona de Tlaxcalcingo, distrito de Atlixco, Puebla, se presenta esta variedad. El tamaño del cladodio rebasa al de las variedades mejoradas (45-50 cms.), y con un ancho de 35-40 cms., con forma romboidal, brotes suculentos, fibrosos, poca espina, gran aceptación en el mercado.

Otras variedades con las cuales se trabaja favorablemente, ya que son de triple propósito, tienen muy poca espina, por lo que son muy recomendables para abastecer el mercado.

Var. Chapingo I

Var. Chapingo II

## 2.2.6 Condiciones Ecológicas.

En la República Mexicana se cuenta con una gran cantidad de ecorregiones y de acuerdo a estas se caracterizan cierto tipo de

cultivos. El nopal, a pesar de ser originario de zonas áridas y semiáridas se les encuentra en un amplio rango de distribución ecológica.

Las zonas áridas y semiáridas de México, ocupan más del 60% del área total del país, esto es aproximadamente 1'450,000 km<sup>2</sup>, siendo ocupada por el nopal *Opuntia spp* una superficie estimada de 300,000 km<sup>2</sup>. Debido a la precipitación pluvial y errática, los cultivos de temporal no son redituables, provocando en mucha medida la emigración hacia los centros urbanos, así como una sobre explotación económica. Entre estos, se cuenta con la candelilla, la lechuguilla, la palma china, el guayule, sotol, maguey y nopal. (Borrego, 1986)

En México las poblaciones silvestres de nopal (*Opuntia spp*), encuentran las condiciones apropiadas para su establecimiento en cualquier tipo de topografía. En cuanto a altitud puede decirse que existen especies cuyos rangos latitudinales son amplios, a diferencia de otras especies. (Arias, 1989)

En áreas con pendientes entre 10 y 30% sus producciones son bajas y en las plantaciones de 2 años de edad se observa una asociación entre la posición fisiográfica y el porcentaje de establecimiento, registrándose mayor establecimiento en pendientes suaves. (López, 1988)

Por lo que para fines comerciales este cultivo no debe establecerse en pendientes altas.

Arias (1988), al respecto menciona que, "en México las poblaciones silvestres de nopal se encuentran condiciones para su establecimiento en cualquier tipo de topografía".

Puente M., R. (1988) menciona que la zona árida de San Luis Potosí, presenta como rangos principales una topografía conformada por terrenos planos, poco inclinados en forma de valles separados entre sí por serranías más o menos continuas y con una altitud que va de 1700 a 3000 m.s.n.m.

Aquí se pueden encontrar más de 29 especies de *Opuntia*, pero algunas especies son muy específicas en su hábitat, como *Opuntia stenopetalata* y *Opuntia yunicata*, que únicamente se han observado sobre sustrato calizo en terrenos con pendiente mayor del 8% y asociados al matorral rosetófilo y micrófilo respectivamente, en tanto que *Opuntia bulbispina* se ha localizado en suelos yesíferos.

Como vemos, se le encuentra en una gran diversidad de condiciones topográficas, pero para fines de explotación comercial se recomiendan terrenos planos.

#### 2.2.6.1 Altitud.

Brom (1970), reporta que en cuanto a la altitud, el rango va de los 180 a 1800 m.s.n.m., siendo susceptible de ser explotado aún, por abajo o por arriba de dicha altura.

En una prueba de adaptación con diferentes especies de nopal, *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia robusta*, *Opuntia morazantha*, llevándolas a la parte del sur de la mesa del norte a una altura entre los 1611 y 2756 m.s.n.m., con una precipitación media anual de 340 a 680 mm. y una temperatura media anual de 19.23°C, la región semidesértica de Oaxaca y Puebla a una altura de 1067-2380 m.s.n.m.; una precipitación media anual de 340 a 680 mm., temperatura media anual de 22.4°C, mínima extrema de 5°C bajo cero y máxima de 46°C. Se obtuvo una media general de rendimiento de 50% más, a pesar de que el material vegetativo sufrió mucho en el transporte. (Ramírez, 1972)

Martínez (1968), realizó una colección de 800 plantas a una altura de 300 m.s.n.m., en Zaragoza, Coahuila y hasta 2000 m.s.n.m., en Concepción del Oro, Zacatecas, para ser plantadas a una altura de 1200 m.s.n.m.; pero solamente las colecciones realizadas en Zaragoza respondieron mejor a la adaptación. (Borrego, 1986)

El nopal prospera mejor en alturas de 800 a 2500 m.s.n.m., pero se le encuentra abajo y hacia arriba. Rojas (1961) y Narro (1970), citados por Borrego (1986).

Algunas especies tienen rangos mucho más amplios a diferencia de otras especies de opuntias y pueden desarrollarse cerca del nivel del mar como serían *O. stricta* y *O. streptacantha*. (Vázquez, 1988)

Cabe hacer mención que bajo sistemas de producción intensivo, también puede explotarse a alturas mayores a los 2000 m.s.n.m., como lo es en el Estado de México, pero como planta silvestre también se le encuentra aún por arriba de estas alturas.

#### 2.2.6.2 Suelos

El cultivo de nopal se desarrolla en un rango muy amplio de suelos, sin embargo en donde se obtienen mayores rendimientos es en suelos de origen ígneo y calcáreo, considerando las especies a explotar. Además requiere de una textura arenosa y de profundidad media por las características de su sistema radicular y pH neutro o ligeramente alcalino. Algunos investigadores recomiendan los suelos ácidos, aunque no la soportan en gran medida.

Como vemos las propiedades edáficas y climáticas son importantes para que el cultivo dé los mayores rendimientos.

Según la Dirección General de Extensión Agrícola, y Lozano (1958), citado por Borrego (1986), indican que el pH en donde el nopal crece es alcalino, aunque López (1977), reporta a *O. streptacantha* creciendo en terrenos con un pH de 7.7 con buen desarrollo. El mismo autor anteriormente citado afirma que el nopal no muestra adaptabilidad a suelos arcillosos, compactos y húmedos, prefiere los suelos areno-calcáreos y poco profundos.

La profundidad del suelo no debe de exceder a la precipitación media, multiplicada por 6. Aún así el nopal crece en terrones pedregosos distribuidos en desorden; las nopaleras sembradas en terrenos no consolidados los enriquecen y transtornan paulatinamente en mejores terrenos con sus deshechos.

El sistema radicular del nopal, debido a su gran poder de penetración a través de los intersticios de las rocas, capas calizas y tepetates, contribuye a la permeabilidad del suelo, y por su anclaje forma una barrera contra la erosión. (Ramírez 1972, citado por Borrego, 1986)

El nopal de verdura requiere de suelos de origen calcáreo de texturas francas, franco-arenosos, y areno-francos, que presente buen drenaje, buena permeabilidad con un pH de 6.5 a 8.5 y pendientes ligeras, de preferencia usar suelos pobres y delgados. (López et. al. 1988)

#### 2.2.6.3 Clima

En México el nopal crece en los climas Bsw (semiseco o estepario con lluvias en verano), Bsx (semiseco estepario con lluvias escasas en todas las estaciones del año). Estos climas representan a una gran región donde se encuentra como planta silvestre, manifestando un gran potencial, aunque no se ha considerado sino hasta últimas fechas el mejoramiento del cultivo, ya que ahora se les puede encontrar en zonas templadas y tropicales del país.

Medina et. al. (1988), indica que el nopal tiene un buen desarrollo en clima tipo Bw, mediante la técnica de microcuencia.

#### 2.2.6.4 Temperatura

El cultivo tiene un desarrollo óptimo en zonas donde la temperatura es de 23°C como medio anual, y soporta condiciones extremas en un rango de 10°C como mínimo y 50°C como máximo.

Brom R.F. (1970), en coincidencia con otros autores, considera que el rango de temperatura en el cual la planta se puede desarrollar es de 18° a 26°C.

Martínez H.F. (1985) menciona 3 zonas importantes donde las condiciones de temperatura pueden variar en función de las causas ambientales de cada región.

a) La zona nopalera Potosino-Zacatecana (Aguascalientes, Jalisco, Durango, Coahuila), tiene temperaturas que oscilan de 12° a 20°C, predominando las especies Q. streptacantha, Q. leucotricha y Q. robusta.

b) En zona nopalera del noreste (norte de Tamaulipas y oriente de Nuevo León), las temperaturas mensuales varían de 11° a 30°C, siendo las especies predominantes Q. lindheimeri y Q. engelmanni.

c) En zona nopalera difusa, que se extiende de las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León hasta Coahuila y la parte árida de Durango, la temperatura media mensual varía entre 11° y 30°C, predominando las especies Q. cantabrigiensis y Q. lasiocera.

#### 2.2.6.5 Precipitación Pluvial.

Vázquez y Medina (1971), mencionan que la abundancia moderada de humedad ya sea por riego o por lluvia, determina un mayor desarrollo vegetativo, por consiguiente las plantas producen una mayor cantidad de pencas, disminuyendo la cosecha de frutos en forma considerable.

Por otra parte CODAGEM (1979) indica, "las poblaciones silvestres de nopal se distribuyen principalmente en las zonas donde la precipitación media es de 150 mm. o más, en climas desérticos o esteparios, con lluvias en todas las estaciones del año.

Asimismo, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (1972) reporta en estimaciones hechas en el Estado de México que existen 14.000 has. propicias para el cultivo del nopal, con

precipitaciones anuales de 370 mm. a 550 mm.

Martínez (1985) especifica que para la zona noreste la variación de la precipitación pluvial en la época es de 5 mm., y en las lluviosas es de 100 mm., mientras que en las zonas nopaleras difusas la precipitación varía de 5 a 60 mm.

Blanco (1957), especifica que el nopal crece en la mayor parte de los terrenos siempre y cuando tengan humedad disponible a diversas profundidades; Lozano (1958), opina que los empantanamientos de agua vuelven al nopal enano y clorótico, muy susceptible al ataque de plagas y enfermedades; Ramírez (1972) reporta que existe un buen desarrollo de nopales con precipitaciones medias anuales de 250 a 560 mm. en la mesa del norte, en Oaxaca, Puebla y en la región semidesértica con precipitaciones de 340 a 580 mm. anuales; Rojas (1961) menciona que los lugares con precipitaciones medias anuales entre 116 y 1805 mm. es el rango donde los nopales se desarrollan, aunque prosperan en condiciones de aridez. (Citados por Borrego et. al. 1986)

Sheinvar L. (1988) indica que la precipitación varía de 400 a 1000 mm. anuales e irregulares en zonas semiáridas entre 400 y 800 mm., observándose penetraciones profundas de especies procedentes de la zona árida chihuahuense, encontrándose especies como Opuntia amniclaeae.

Como vemos, entre los autores ya citados, existe una gran controversia en cuanto a la precipitación requerida para el desarrollo de el nopal de verdura y es evidente que existe un amplio rango de adaptación del cultivo a las condiciones de humedad.

#### 2.2.6.6 Latitud

El Instituto de Investigaciones Desérticas indica que la latitud unida a la altitud determina la variedad en la temperatura y que

las estaciones del año sean más o menos definidas, hechos que favorecen o impiden el desarrollo normal de las plantas, para nopales tuneros, la latitud no debe de exceder de 40° en nuestro hemisferio. (Borrego et. al. 1986)

Marroquín (1964), Borja (1963) y Piña (1970), indican que la zona cactológica de nuestro país está ubicada entre los meridianos 110° y 132° 30' de longitud oeste y su rango altitudinal entre 2000 y 2300 m.s.n.m.

#### 2.2.6.7 Vientos.

Las corrientes de viento cálido afectan al nopal deshidratándolo, así también roban humedad al suelo en que vive la planta, en nuestro medio estas corrientes no son tan cálidas para que sean de temerse, en cambio los vientos fríos, sí son de peligro, al igual que los vientos salitrosos que produce el mar.

Debido a la debilidad del sistema radicular de la planta la afectan mucho los vientos intensos y fuertes y pueden llegar a tirarla, porque la estructura, la disposición y rigidez de las poncas la obligan a recibir directamente la fuerza del viento sin que pueda, por falta de elasticidad, colocar sus órganos de manera de presentar el menor frente a las corrientes aéreas a lo que se lo agrega el peso de otros órganos. (Borrego et. al. 1986)

#### 2.2.7 Descripción Botánica.

Las especies de *Opuntia* han desarrollado a través del tiempo una gran diversidad de características morfológicas, adaptadas principalmente a un régimen de precipitación pluvial y a un gran contraste referente a las temperaturas y por supuesto a los demás factores ambientales físicos de las zonas áridas y semiáridas del país.

Britton y Rose (1963) estimaron que el género *Opuntia*, es uno de los más recientes de la familia de las cactáceas, porque en ellas las glóquidas y succulencia llegan a adquirir su máximo

desarrollo. Son xerófitas perfectamente adaptadas a un medio cálido seco: la succulencia es la principal característica morfológica de los nopales y de la mayoría de las cactáceas.

La especie *O. ficus-indica* (nopal de castilla, tuna mansa, etc.) es una planta de hasta 5 metros de altura, artículos oblongos o espatulados, de 30 a 50 cms. de largo, aréolas pequeñas con pelusa blanca sin espinas y con fruto generalmente rojo de 10 cm. de largo y comestible. (Bazan, 1968)

Su estructura y funcionamiento se han modificado para la conservación interna de la humedad, y entre las modificaciones pueden mencionarse: (Bravo, 1978)

- 1.- Reducción de la superficie de evaporación (formas especiales de tallos).
- 2.- Aumento o disminución de volumen según la absorción del agua.
- 3.- Raíces con un sistema especial de absorción de agua en época de lluvias.
- 4.- Diferenciación de un parénquima clorofiliano en el tallo.
- 5.- Mayor espesor de cutícula y membrana celulósica en células epidérmicas.
- 6.- Formación de capas cerosas.
- 7.- Estomas hundidos.
- 8.- Excrescencias pilosas.
- 9.- Elaboración de mucilagos y otros productos higroscópicos.
- 10.- Diferenciación de parénquimas acuíferos en tallos y raíces.

Los tejidos son muy ricos en cristales de oxalato de calcio, sustancia que aumenta con la edad de la planta y alcanza hasta el 85% de las cenizas. El agua puede representar entre el 50 y 95% del peso total de la planta y este peso disminuye muy considerablemente en periodos de sequía, al grado que las pencas se reducen hasta la octava parte de su espesor, según la

Intensidad de duración de la sequía.

Vázquez A.A. y Medina C.J. (1981), hacen hincapié en caracteres xeromórficos en cuanto a la economía del agua y otros lo complementan para evitar su pérdida debido al calentamiento por el sol y la defensa a predadores.

La característica principal del género *Opuntia* es la succulencia en donde su constitución predominante es de tejidos parenquimatosos, asociados a un aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución de los espacios intercelulares.

Lo anterior permite que los órganos de estas plantas acumulen grandes cantidades de agua en forma muy rápida, durante los breves periodos de humedad y por otra parte las formas esféricas o succulentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración.

El nopal es una planta fanerógama angiosperma, dicotiledónea, perenne con hábitos de crecimiento que van desde ser rastrera hasta arbustiva con especies y variedades muy espinosas y otras casi sin espinas ni ahuates. (Borrego, 1986) .

#### 2.2.7.1 Raíz (Morfología y Fisiología).

Los cladodios puestos en un medio de enraizamiento y orientados de norte a sur emitieron mayor cantidad de raíces que la orientación este a oeste (Becerra, 1975). Cuando el nopal está plantado en hileras hasta 10 o más metros, sus raíces se entrelazan con la de los nopales cercanos abriendo todo el espacio entre ambos. (Landaverde, 1975) Al término de la temporada de lluvias todo este sistema de absorción degenera y muere para nacer al año siguiente.

Las raíces secundarias son muy largas, ramificadas y forman una verdadera red en el terreno (Bravo, 1978). Penetran de 1.5 a 5 metros y se extienden hasta 15 metros alrededor de la planta.

tanto por su escasa profundidad, como por su extensión y ramificación permiten el aprovechamiento del terreno con espesor y escasa humedad.

Por su forma, las raíces son típicas o pivotantes presentando ejes primarios que funcionan como un sostén de la planta, en su mayoría son gruesas con un tamaño ancho y variable perenne y con ausencia de pelos absorbentes cuando no existe humedad suficiente para que se desarrollen, en cambio si existe agua disponible en el suelo, se estimula su crecimiento y la velocidad de absorción de agua y nutrientes se torna sorprendentemente alta.

Cuando es escasa la humedad las raíces secundarias se marchitan para volver a brotar al año siguiente. Así que la absorción de la planta es por poco tiempo, pero su estructura y funcionamiento le permiten conservar agua todo el año y aún por periodos muy amplios. (Borrego, 1986)

Al nacer la semilla de la planta del nopal, se comporta como cualquier otra dicotiledónea, siendo la raíz la radícula del embrión desarrollado. Al crecer la raíz es difícil distinguirla de las raíces secundarias, penetran verticalmente de 10 a 20 cms. y no es sino uno de tantos sostenes de la planta. La raíz principal no le sirve a la planta en la absorción de sustancias nutritivas, ya que dicha actividad la realizan las raíces secundarias. (Lozano, 1958, citado por Borrego)

Las raíces terminales después de la primera lluvia forman un denso colchón y durante la segunda y tercera lluvia absorbe el agua en menos de 24 horas. El crecimiento horizontal se da porque la planta realiza intercambio gaseoso por las raíces durante el día, dado que los cladodios pueden hacerlo durante la noche, aunque su distribución se asocia al manejo agrícola y condiciones de humedad en el suelo, nutrientes, etc.

Enraizamiento.

Opuntia spp es un género de fácil enraizamiento sin necesidad de

aplicar auxinas tanto en condiciones "in vitro", como en vivo, aunque puede incrementarse la cantidad de raíces si llegara a aplicarse enraizadores. (Chagoya).

El sistema radicular es extenso y llega a medir hasta 8 mts. de longitud, distribuidos en los 40 cms. superiores del suelo. (Hernández, citado por López, 1988).

Rebollado y Figueroa indican lo siguiente: (López, 1988)

- 1.- La falta de humedad en el suelo estimula el enraizamiento de las pencas.
- 2.- La longitud de las raíces está en relación con la humedad y nutrientes disponibles en el suelo.
- 3.- Para el rendimiento en fresco se observó que *O. ficus-indica* respondió a la aplicación de N P K y estiércol en sustrato de origen igneo.

#### 2.2.7.2 Tallo (Morfología y Fisiología).

Las cactáceas pertenecen al tipo de plantas C-3 pero con metabolismo (CAM); estas plantas abren sus estomas en la noche cuando las condiciones son menos propicias para la transpiración y absorben  $CO_2$  del aire que convierten en ácidos orgánicos del grupo carboxílico, en especial, los ácidos málico e isocitrico. Durante el día los estomas se cierran y son descompuestos los ácidos orgánicos para liberar  $CO_2$  que se utiliza de inmediato para la fotosíntesis. Como resultado de este comportamiento la transpiración de las plantas es mayor en la noche que en el día y en general menor que en otras plantas; esta condición permite que las suculentas efectúen fotosíntesis y conserven agua en sus hojas y tallos.

En épocas de sequía, una penca reduce su espesor de 8 a 1 cm. (Landaverde, 1975)

Como recurso de la planta para impedir la evaporación y retener el agua presenta las siguientes características:

- 1.- Conversión de polisacáridos pentosanicos que al combinarse con sustancias nitrogenadas forman compuestos con gran capacidad de inhibición.
- 2.- Producción de sustancias higroscópicas a partir de los ácidos orgánicos muy abundantes en el nopal.
- 3.- La superficie foliar ha sido eliminada en la planta adulta, en la planta joven se presentan las hojas con carnosidades de 1 cm. de longitud.
- 4.- Savia viscosa que cierra rápidamente cualquier herida en la penca.
- 5.- Aréolas hundidas.
- 6.- Estomas hundidos.

Las pencas del nopal, además de servir de vías para la savia ascendente y descendente, ejerce la función clorofiliana a través del parénquima clorofiliano situado debajo de la epidermis y del tejido tuberoso. La estructura de este parénquima es análoga al parénquima muriforme de las hojas y está constituido por varias capas de célula prismática de gran tamaño y paredes delgadas con numerosos cloroplastos; este parénquima se comunica al exterior de los estomas. (Bravo, 1978)

El parénquima clorofiliano se convierte gradualmente en acuífero y constituye la zona central y esponjosa de la penca por donde circula la savia ascendente. En las temporadas muy largas de sequía total, la turgencia de las pencas disminuye a medida que se agota el agua.

Nobel, P.S. (1980) encontró que en las uniones y en los cladodios los estomas se abren y la concentración total de ácidos se incrementaba, a la vez que disminuía la concentración de almidones y glucosa; lo inverso ocurría durante el día.

El tallo es crasso y erecto, en algunas especies ramificado y multiarticulado, está compuesto de un tronco cilíndrico, con ramas aplanadas discoides, cutícula gruesa y está adaptado para

acumular agua en sus tejidos. Su aspecto dá la apariencia de una raqueta y botánicamente recibe el nombre de "cladodio", son de color verde y su función es la fotosíntesis. (Vázquez, 1981)

Cuando se realiza su reproducción por semilla, se forma un talluelo que va engrosando con el tiempo y cuando crece vegetativamente se va dando una transformación en su aspecto y constitución, hasta que se convierte en un tallo fibroso y cilíndrico. (Banco de Crédito Rural, 1986)

En las pencas se encuentran aréolas, situadas con simetría a mayor o menor distancia en forma de series espirales, su densidad aumenta del centro de la penca hacia los bordes, sobre todo hacia el extremo apical; son generatrices de tallos y hojas no desarrollados. (Borrego, 1986)

En las aréolas del tallo, pencas y ovarios florales, aparecen los ahuates ó glóquidas, solos o acompañados de espinas, cerdas, borra o fieltro leñoso. La estructura del xilema secundario en tallos de platypuntias, está relacionado con el tamaño de la planta y el xilema axial decrece con la lignificación de los rayos vasculares. (Gibson, citado por Borrego, 1986)

Los diámetros y espesores de las pencas varían según la humedad de la que disponga la planta. Con la sequía adquieren un color amarillento, se tuercen y pueden desprenderse. El frío imparte un color rojizo sobre todo en las partes expuestas de estas plantas, cuando es muy intenso y persistente llega a producir la congelación y hasta la muerte del nopal.

Al desarrollarse el talluelo del embrión, se forma la primera penca que crece hasta alcanzar el tamaño de una raqueta pequeña.

Sobre los bordes de esta penca nacen uno o varios renuevos que crecerán hasta adquirir la forma y el tamaño de la penca madre y se forma entre ambas una articulación o coyuntura. Con el tiempo las pencas adquieren aspecto leñoso, engruesan y acaban de formar un tronco cilíndrico de los 10 a 15 años de edad. (Lozano, citado por Borrego, 1986)

El nopal por su metabolismo CAM, puede responder a las condiciones adversas del ambiente, y bajo otros sistemas de manejo puede modificar su metabolismo, comportándose como C-3. Durante el día bajo sistema de túnel hay flacidez de brotes tiernos por pérdidas de agua y efecto de la transpiración. (López, 1988)

### 2.2.7.3 Hojas.

Las espinas representan hojas o ramas modificadas por adaptación de la planta a las condiciones atmosféricas, se clasifican en centrales, marginales o radiales, según su coloración en la aréola. Las centrales están en el centro, en número reducido (una o varias), más gruesas y largas, rectas o curvadas, situadas en distintos ángulos con respecto a la superficie de la penca, las radiales son más numerosas, menos largas y gruesas y se pegan más a la superficie de la penca. Ambas clases protegen a la planta de la acción directa de los rayos solares y atenuan los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche.

Mediante aplicaciones de altas concentraciones de  $Ga_3$  a las yemas axilares en dormancia de *Q. polyacantha*, se logra que aumenten su tamaño y también su actividad mitótica, lo mismo que la fotosíntesis en las hojas, además de producir hojas y espinas. (Mouset, 1976-1977)

En gran parte de los géneros de la subfamilia Opuntioideae, las hojas se modifican, la base se transforma en un tubérculo poco prominente, el peciolo desaparece y el limbo se reduce; adquiere formas cónicas o cilíndricas y generalmente caduco aunque a veces puede persistir transformándose a espina cuando los tejidos se esclerifican. (Dravo, 1978)

Las hojas aparecen únicamente en los renuevos de pencas tiernas, son cilíndricas y caducas. Además presentan pequeñas espinillas llamadas "ahuetes o glóquidas", que no son más que hojas modificadas que no tienen ninguna función. (Vázquez, 1981)

El género *Opuntia*, presenta una hoja reducida, de forma cilíndrica y cónica, en donde no se distingue el haz ni el envés, su parénquima clorofiliano o en empalizada se modifica al tipo esponjoso rodeando los tejidos vasculares. Se ha observado un patrón general de venación siendo este una media central de la cual se derivan las venas secundarias que al ramificarse y dispersarse en el mesófilo forman las aréolas o lagunas foliares. En ocasiones es posible observar venas ciegas, tanto marginales como centrales. (Galicia, 1988)

#### 2.2.7.4 Importancia del Agua.

Uno de los factores esenciales en el desarrollo de los seres vivos, lo constituye el recurso agua, a tal grado que todo organismo viviente de la misma interviene como constituyente y participa en diversas reacciones físico-químicas a nivel fisiológico.

El proceso de asimilación y transporte del agua en los vegetales presenta una secuencia en cada una de sus etapas. Todo esto es posible gracias a las propiedades del agua, como son la tensión, cohesión y adherencia, haciendo posible el movimiento del agua. Este movimiento está determinado directamente por un gradiente de potencial hídrico, dándose una relación suelo-planta-atmósfera.

El transporte del agua dentro de la planta gira alrededor de este gradiente que va disminuyendo desde la atmósfera hasta el suelo, pasando por cada una de las partes de la planta, es importante mencionar que el agua sube por efecto de la transpiración, a través de los estomas es succionada por una tensión creada dentro de la misma planta basándose en las leyes de la termodinámica, suscitando tensiones elevadas dentro de las células del xilema, de las hojas, traduciéndose el potencial hídrico bajo, hasta las partes más inferiores de la planta, lo que permite la realización de las funciones vitales de la planta para que esta se exprese fenotípicamente y genotípicamente.

### 2.2.8 Sistema de Producción Intensivo.

Existen dos métodos de plantación, uno que es el aire libre y otro que es bajo microtúnel. Para el primer caso se recomienda una distancia de plantación de 1.25 m. entre surcos y 0.4 m. entre plantas, orientados de norte a sur, con esto una densidad de 20,000 plantas será obtenida por hectárea, esta distancia permitirá un manejo tradicional. Para el segundo caso, PROMAN (1978), recomienda una densidad de 16 plantas por metro cuadrado a una distancia de .25 m. de ancho por 50 m. de longitud.

García V.A. (1980), hace una recomendación de 55 plantas por m<sup>2</sup> a una distancia de 0.10 m. entre pencas y 0.20 m. entre hileras, lo que representa 3,750 plantas por cama de las mismas medidas que la anterior.

Ahora bien, la teoría llevada a la práctica ha mostrado que una distancia adecuada es de 0.10 m. entre plantas y 0.40 m. entre hileras, lo que representa 25 plantas por m<sup>2</sup> y una densidad de 1,875 plantas por cama de las mismas medidas.

La variedad que fué utilizada en el experimento es la italiana, que se deriva de la especie *Opuntia ficus-indica*. A partir de esta especie, se han producido numerosos híbridos y variedades, algunas muy diferentes, tanto que ha sido necesario considerarlos como especies distintas. (Broom, 1972)

Las características de las variedades así como algunas otras que se utilizan en México ya han sido mencionadas con anterioridad, por ello se cita en forma muy particular la especie más utilizada en el Valle de México. El nopal es un cultivo que se puede reproducir sexual y asexualmente.

De manera sexual, presenta un inconveniente ya que al ser una planta de polinización cruzada, propio de las alógamas, el tiempo en entrar en producción se ve muy prolongado.

En cuanto a la reproducción asexual, puede ser por medio de cladodios completos o por fracciones de éstos.

Se realizó un experimento en propagación clonal, probando una técnica en donde se obtuvo a partir de un cladodio una producción de 672,000 plantas en tan sólo 120 días. (CONACYT, 1988)

La reproducción asexual de manera vegetativa por cladodios completos o fraccionados es más ventajosa, ya que se conservan las características fenológicas en la planta madre, por lo que las plantas obtenidas de esta forma entran en producción en poco tiempo. (INIA, 1981)

#### 2.2.8.1 Selección del Material Vegetativo.

Para propagar el nopal se requiere la obtención del material vegetativo de huertas preferentemente carcanas que reúnan los requerimientos ecológicos, además deben ser plantas que tengan vigor, libres de plagas y/o enfermedades, libres de malformaciones y de uno a tres años de edad. (Broom, 1970) Especialmente se debe observar que el material que se reciba no presente tumores ni daños físicos.

La preparación del terreno es fundamental para cualquier cultivo que se desee establecer sobre una superficie de suelo. Con una adecuada preparación de la cama de siembra se permitirá que el cultivo desarrolle raíces y que el crecimiento de las plantas sea el adecuado.

Para el cultivo del nopal la preparación óptima de la cama de siembra va a permitir que el cultivo desarrolle raíces con mayor facilidad y éstas sean vigorosas.

La preparación del terreno involucra una serie de labores que deben ser efectuadas cuando menos un mes antes de realizar la plantación, para ello las labores que se deben llevar a cabo

son:

1. Barbecho.- Esta labor se realiza con un arado de discos ó junta de animales, a una profundidad de 30 cm.

Esta práctica tiene la finalidad de destruir las malas hierbas, exponer larvas y huevecillos al sol y reincorporar los residuos vegetales para su descomposición.

2. Rastreo.- Diez días posteriores al barbecho se lleva a cabo el rastreo, tiene el objetivo de desmenuzar los terrenos y mullir perfectamente el suelo, ya que en este caso es un cultivo perenne y requiere de inicio una buena cama de siembra.

3. Nivelación.- Esta labor se realiza con una niveladora o en su defecto con un tronco pesado, tiene como objetivo facilitar el riego para que éste sea uniforme.

4. Riego.- Este regularmente se realiza por gravedad y de una manera empírica sin saber la cantidad exacta. El tiempo entre riegos es espaciado por 7 días hasta que se inicie el enraizamiento y aparezcan los nuevos brotes, cuando éstos alcanzan de 10 a 12 cm. de altura, para ello se cubren las fracciones totalmente para completar el enraizamiento total.

#### 2.2.8.2 Tratamiento del Material Vegetativo.

Este tratamiento tiene como objetivo proteger a la planta madre de posibles infecciones. (COCODER, 1987)

El tratamiento de cladodios completos se inicia con el corte de pencas, justamente en la base de ésta, donde se une con la otra.

Deben ser pencas de seis meses a un año de edad, sanas y libres de daños, el corte se debe realizar 20 días antes de la plantación y los cladodios deben dejarse bajo sombra y hacérsele una aplicación de caldo bordelés (1 kg. de sulfato de cobre tribásico, 1 kg. de cal y 10 litros de agua), en la zona donde se realizó el corte.

Para el tratamiento por fracciones de pencas se lleva un poco más de trabajo; éste consiste en seleccionar una penca o

cladodio en seis partes, se hace un tratamiento con caldo bordelés sobre las secciones cortadas y se colocan en un lugar sombreado durante 10 días. Al pasar este tiempo se colocan éstas sobre un almácigo a una equidistancia de 20 cm. una de otra, el ancho del almácigo debe ser de 1.2 x 5 m. de longitud.

La época más adecuada para llevar a cabo la plantación es al inicio de la época de lluvias, esto se debe primordialmente a que se estimula la emisión de raíces, de tal forma que al transcurrir tres meses se encontrarán raíces secundarias.

#### 2.2.8.3 Trazo de Plantación.

Para el caso de plantaciones intensivas es necesario proveerse de cuerdas y estacas para marcar donde quedaron ubicadas las plantas, se deben trazar en forma perpendicular a la pendiente.

#### 2.2.8.4 Protección de la Plantación.

Para la protección de la plantación se usa un túnel de polietileno calibre 600 de uso agrícola (térnico). Este sirve para proteger la plantación de las bajas temperaturas durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; transcurridos estos meses se retira el túnel una vez pasado el riesgo de bajas temperaturas.

La altura de los microtúneles es de 1.5 a 1.3 m., no más bajo, ya que se puede tener efecto de las heladas sobre los brotes debido a la cercanía con el plástico. Al igual, de cada lado se debe separar el plástico 0.25 m. por lado para evitar los riesgos de heladas por la cercanía con el polietileno. (Fig. 8, 9, 10)

#### 2.2.8.5 Diseño, Distribución y Trazo de la Plantación.

Se considera una hectárea regular de 100 m. por lado, podremos hacer un diseño de la distribución en la siguiente forma:

Se debe dejar en la parte central una franja de 5 m., ya que

ésta servirá como patio de maniobras.

El terreno restante será ocupado por el huerto. Se ocupan 66 camas, 33 de ellas miden 1.5 m. x 50 m. de longitud; y las otras 1.5 m. de ancho x 48 m. de largo. El total de la extensión ocupada será de 4,603 m<sup>2</sup>, y los 5,397 m<sup>2</sup> restantes ocupados por calles y patios de maniobras, debe recordarse que entre cama y cama hay una separación de 2.0 m. (fig. 11), para manejo de la plantación.

Se maneja una población de 115,085 plantas por hectárea.

#### 2.2.8.6 Labores Culturales.

Estas labores como otras actividades son importantes para el desarrollo, conservación y producción de la huerta dentro de las labores culturales, y para el nopal se consideran las siguientes:

a) Deshierbos.- Es importante llevar a cabo esta labor, sobre todo en la parte interna de la cama, realizándola de una manera manual o ayudado de un instrumento con filo pero delgado, hay que evitar en lo posible toda competencia interespecífica. Para el caso de los caminos, es conveniente hacer un paso de rastra.

Esta labor se debe llevar a cabo en los meses de marzo y abril, así como en septiembre y octubre.

b) Aflojar el terreno.- El objetivo de esta labor es procurar que nuestro cultivo mantenga un óptimo desarrollo de las raíces, así como una adecuada aereación y aprovechar el uso racional del agua.

c) Aplicación de abonos orgánicos.- En el caso particular del cultivo de nopal de verdura, la aplicación de estos abonos es muy recomendable desde el primer año. Aplicando de 8 a 10 kgs. por planta y evitando que tenga contacto con la planta, la

materia orgánica proporcionará las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio, así como de microelementos, complementando con fertilizantes inorgánicos.

La fertilización es importante ya que como sabemos, lo que primordialmente interesa es la producción de brotes tiernos con un color verde intenso, así que para lograr esto, la aplicación de nitrógeno es básica.

Rodríguez (1981), menciona que algunas de las funciones del nitrógeno son:

1. Mayor vigor vegetativo en las plantas perennes, una fertilización adecuada de nitrógeno a fines del verano induce a una formación de brotes, perdiéndose en los fríos invernales.
2. El vigor vegetativo se manifiesta por el aumento de velocidad del crecimiento, determinado por un aumento de volumen y peso.
3. Color verde intenso de la masa foliar.
4. Mayor producción de hojas de buena sanidad y calidad.

Palacios indica que las deficiencias por nitrógeno son: Clorosis, color verde amarillento o cloros enfermizos con raquetas dobladas, agrega que se obtienen mejores rendimientos con abonos orgánico-minerales, que cuando sólo se aplican fertilizantes químicos ó solo orgánicos.

Existe una respuesta notable a la aplicación de estiércol y nitrógeno combinados. (García, 1973)

Una hectárea cultivada con nopal se lleva aproximadamente de 6 a 8 toneladas de estiércol, repitiéndose esta aplicación cada 2 ó 3 años. (Nuñez, 1981)

En general todos los autores recomiendan la combinación de

nitrógeno y abonos orgánicos, siendo éste un elemento que en última instancia no se puede hacer a un lado.

#### 2.2.8.7 Podas.

Una de las prácticas agronómicas indispensables en el nopal es la poda, ya que de esta manera evita uno que la planta alcance una altura en donde sería muy difícil cortar los brotes, y en el caso de los microtúneles se evita que rompa el plástico, sobre todo para la explotación de nopal de verdura. Para ello se mencionan dos podas de gran importancia:

1. Poda de Formación.- Esta poda tiene como objetivo el proporcionar al cultivo una estructura predominante, y para ello se deben considerar las pencas que por su colocación, vigor y sanidad serán seleccionadas, así que se toman las que están ubicadas de tal forma que se facilite el manejo del huerto. Generalmente se dejan dos raquetas en los extremos, a esta poda también se le llama de oreja de conejo.

2. Poda de Producción.- Esta poda es importante ya que de ésta dependerá la óptima producción de brotes tiernos, hay que considerar que las pencas productivas son aquellas de más de seis meses de edad por lo que se debe procurar, con la poda de formación, que sólo queden dos pencas por planta madre, así que el resto de los brotes fuera de estas características se cosecharán para su venta en el mercado.

#### 2.2.8.8 Plagas.

Las plagas son a nivel mundial las causantes de grandes pérdidas que merman la producción de una gran cantidad de plantas. El cultivo del nopal de verdura se ve atacado por diversas plagas, de las cuales las más importantes son las siguientes:

1. Cochinilla ó Grana (*Dactylopius indicus* Green).
2. Chinche Gris (*Chelinidar tubulata* Burn).

3. Chincho Roja (Hesperoelalooops melastoma Kirk)
4. Gallina Ciega (Phyllophaga Spp)
5. Trips del Nopal (Sericothrips opuntia Hodda)
6. Picudo de las Espinas (Cylindrocopturus biradiatus Champs).
7. Gusano Blanco del Nopal (Lanifera cicladaea Druce).

De éstas, la plaga de mayor importancia económica por la agresividad de su ataque es el gusano blanco, ya que es capaz de acabar con una plantación en poco tiempo.

El control para estas plagas se puede hacer por medio de aplicaciones de Paration Metílico, Dipterex al 90%, Malation, Folidol, Volaton, Gusation, Servin y otros.

Para la aplicación de estos productos es conveniente recomendar:

- a) Verificar los ciclos biológicos de cada plaga.
- b) Hacer aplicaciones cuando se determine un daño económico en la plantación.

#### 2.2.8.9 Enfermedades.

Existe muy poca información al respecto, ya que éstas en su mayoría no se han estudiado a fondo, dado que el nopal no constituye un alimento básico en la alimentación del hombre. Al respecto se enlistan los principales patógenos que causan un daño económico a la planta de nopal:

1. Mancha o Secamiento de la Penca (Alternaria sp).
2. Mancha Bacteriana (Bacterium spp)
3. Mancha de la Penca y del Fruto (Colletotrichum sp).
4. Negrilla ó Fumagina (Capnodium sp).
5. Oro del Nopal.
6. Engrasamiento del Cladodio.

Como podemos apreciar en las dos últimas enfermedades aún no se ha determinado el agente causal que lo provoca, existiendo aún controversia en ello.

Para el caso de enfermedades, debemos recordar que toda aplicación deberá ser preventiva, siendo las más comunes de origen fungoso por lo que es conveniente llevar a cabo un manejo adecuado desde el inicio de la plantación para evitar epifitias que tengan una repercusión económica.

#### 2.2.8.10 Cosecha.

Generalmente, la mayor producción de brotes tiernos se presenta cuando la precipitación es mayor, esto es cuando el precio del nopalito es más bajo en el mercado.

García, V. A. (1980), menciona que durante el invierno la producción es muy baja o nula si no se aplica riego, pero es en esta época cuando los precios son mejores, manteniéndose hasta la época de cuaresma, para bajar después de semana santa. En el mercado sólo se aceptan brotes de 10 a 15 cms., pero en ocasiones se prefieren más grandes o más pequeños.

En el método o sistema de microtúneles se puede lograr una producción de 30 kg./m<sup>2</sup> si se le aplican todos los insumos necesarios y un cuidado adecuado en su manejo.

#### 2.2.8.11 Empaque.

El empaque dependerá del mercado en donde se pretenda comercializar el producto, si el mercado se encuentra fuera de la central de abastos de la Ciudad de México, entonces se colocarán los brotes tiernos en cajas de plástico o en huacales de 30 kgs. Pero si el canal de comercialización es la central de abastos de México, D.F., entonces se hará en rodetes de 400 kgs. aproximadamente.

Existe también la opción de la agroindustria, es decir, nopalitos enlatados, sin embargo no son muy aceptados por el consumidor, ya que prefieren consumirlos frescos.

En cuanto a las normas de calidad, no se tienen para el nopal, pero el consumidor exige brotes tiernos de 10 a 15 cm. y que no estén deformes.

#### 2.2.8.12 Transporte.

En cuanto al transporte, éste se puede hacer en camiones, camionetas u otro medio de transporte, si la cosecha es llevada a grandes distancias, se hace uso de trailers con termoquín para mantener el producto fresco, ya que no hay que olvidar que se trata de un producto perecedero.

### III. CONSIDERACIONES GENERALES.

#### 3.1 LOCALIZACION DEL EXPERIMENTO.

El municipio de Cuautitlán Izcalli, en el Estado de México, es parte integral de la gran cuenca del Valle de México, ubicándose geográficamente entre los  $19^{\circ} 37'$  y los  $19^{\circ} 45'$  de latitud norte y entre los  $99^{\circ} 07'$  y los  $99^{\circ} 14'$  de longitud oeste; al sur limita con el municipio de Tultitlán, al sureste con el municipio de Tultepec, al este con el municipio de Melchor Ocampo, al norte con el de Teoloyucan, al noreste con el de Zumpango y al oeste con el de Tepetzotlán; la altitud media para el municipio es de 2,400 m.s.n.m., en tanto que para la cabecera municipal se reporta una altura de 2,250 m.s.n.m. (Reyna, T. T., 1978).

La Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán se encuentra ubicada en el oeste de la cabecera municipal del municipio, y específicamente dentro de estos límites están ubicados los terrenos de la Facultad, los cuales presentan una distribución acorde a las necesidades de las diferentes actividades agropecuarias.

La parte experimental del presente trabajo se encuentra ubicado dentro de los límites de la parcela No. 11, ya que en ella se encuentra establecido un huerto de nopal de verdura, lo que facilitó el montaje.

##### 3.1.1 Clasificación Climática.

Reyna T. T. (1975), indica que de acuerdo al sistema modificado por Garcia, el clima para la región del Valle de Cuautitlán corresponde al C ( $w_0$ )(w)b (1) "Templado", el más seco de los subhúmedos, con regímenes de lluvia en verano e invierno seco (menos del 5% de la precipitación anual), con verano largo y fresco, temperatura extremosa con respecto a su oscilación.

A continuación mencionaremos cómo es el comportamiento de algunos elementos del clima, como lo es la temperatura, precipitación, y las heladas que de alguna manera son determinantes en la producción.

a) Temperatura.

La temperatura media anual es de 15.7°C en promedio, siendo enero el mes más frío, con un promedio de 11.8°C, y junio el mes más caliente con 18.3°C; la oscilación anual de las temperaturas media mensuales es de 6.5°C.

--Temperatura Máxima.-- Acorde al comportamiento de la temperatura durante el año, en promedio, en abril hay una temperatura de 26.5°C, este rango se mantiene casi constante hasta el mes de junio.

--Temperatura Mínima.-- Los meses con temperatura más baja son enero con 2.3°C y febrero con 2.9°C; pero se llegan a presentar en ocasiones, temperaturas aún bajo cero durante las noches.

b) Precipitación.

El régimen de lluvias es de verano concentrándose básicamente de mayo a octubre, en tanto que durante el invierno se recibe una cantidad mínima (menos del 5% del total anual), de aquí que se considere a ésta como una estación seca. Al año se reciben un total de 605 mm.; julio es el mes más lluvioso, con 128.9 mm., y febrero el mes más seco con 3.8 mm.

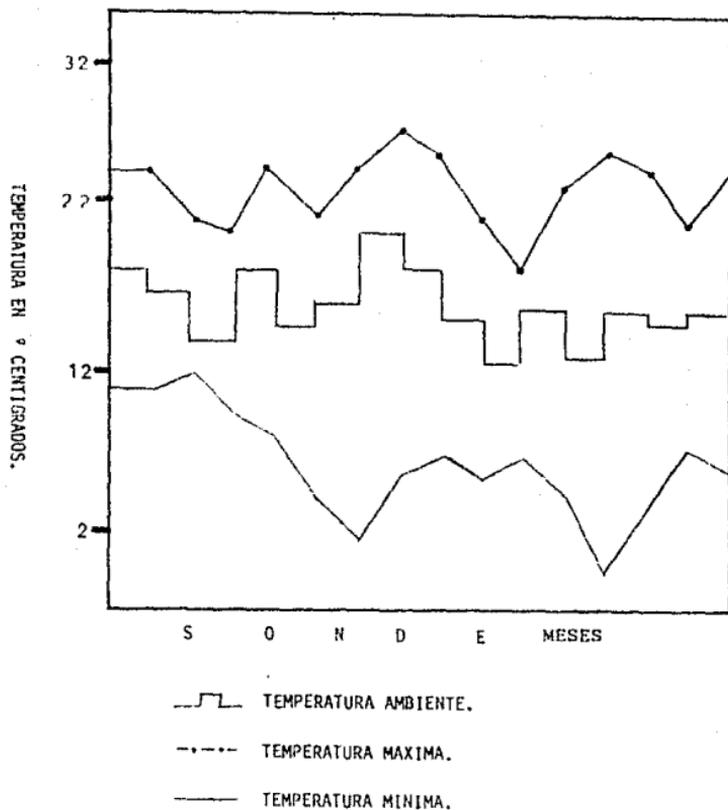
c) Heladas.

El promedio anual de heladas en el Valle de Cuautitlán se considera alto, la mayor frecuencia se presenta en los meses de diciembre a febrero, e inclusive desde septiembre hasta mayo, pero en este caso se da muy excepcionalmente. En el periodo experimental se presentó el máximo descenso de temperatura el día 23 de diciembre, con una temperatura mínima de -7°C.

A continuación presentamos de una manera específica el comportamiento del tiempo en el desarrollo experimental. (Graf. 3.4) y (Cuadro VII), en los que se reportan las medias de una suma de 10 días, ya que con ello nos ayudaremos a la conclusión de nuestros resultados.

CUADRO: II RELACION DE DATOS DECENALES ( 10 DIAS )  
 PROMEDIO DE TEMPERATURA EN ° C., PRECIPITACION EN mm.  
 Y EVAPORACION EN mm: EN EL VALLE DE CUAUTITLAN, DE R.R.  
 EDO. DE MEXICO ( 1989 - 1990 ).

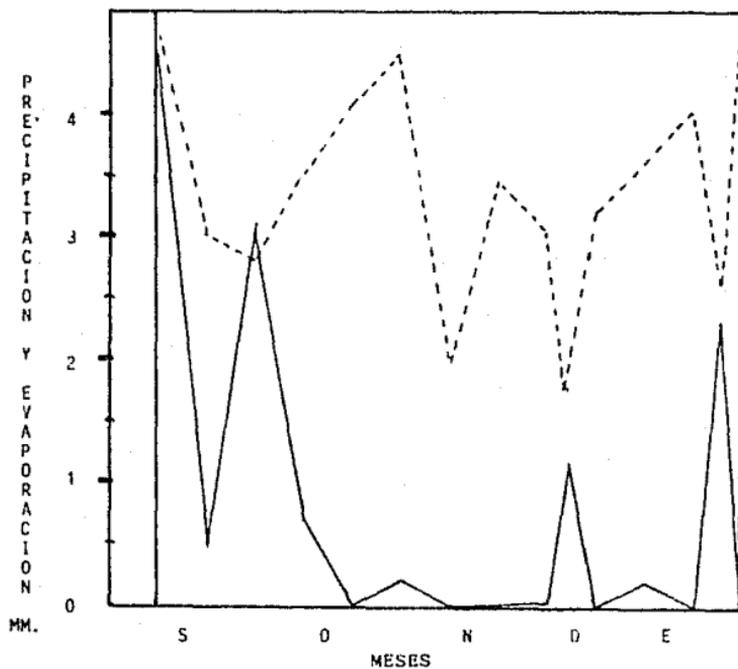
TEMP. ° C.	TEMP. MAX.	TEMP. MIN.	PRECIP. mm.	EVAP. mm.
SEPTIEMBRE.				
17.57	22.48	10.85	4.74	4.62
16.76	20.45	11.05	0.51	3.02
14.28	19.54	8.5	3.16	3.06
OCTUBRE.				
17.55	22.8	7.5	0.66	3.55
15.26	21.6	3.1	0.0	3.86
16.18	23.43	1.72	0.21	4.32
NOVIEMBRE.				
19.06	24.65	4.29	0.04	1.98
17.48	24.25	5.15	0.0	3.53
14.55	20.31	4.0	0.04	3.16
DICIEMBRE				
12.36	17.85	4.2	1.16	1.7
15.16	22.0	1.95	0.0	3.14
13.55	23.51	-5.0	0.12	3.5
ENERO				
15.05	22.4	1.87	0.0	3.95
14.61	20.85	4.48	2.34	2.53
15.60	22.59	4.18	0.0	4.25



GRAF. 1 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN ° CENTIGRADOS EN EL VALLE DE CUAUTITLAN, EDO. DE MEXICO. ( 1989 - 1990 )

\* DATOS PROPORCIONADOS POR LA ESTACION METEOROLOGICA.

F.E.S. CUAUTITLAN EDO. DE MEX. U.N.A.M.



GRAF. 2 COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACION Y EVAPORACION EN mm.  
EN EL VALLE DE CUAUTITLAN, EDO. DE MEXICO ( 1989 - 1990 ).

— PRECIPITACION.

--- EVAPORACION.

\* DATOS PROPORCIONADOS POR LA ESTACION METEOROLOGICA.

F.E.S. CUAUTITLAN U.N.A.M.

### 3.1.2 Características del Suelo.

En un experimento de determinación de humedad del suelo es indispensable conocer las características específicas que éste presenta, ya que de esta manera determinaremos como interactúan los factores suelo-planta-atmósfera.

De acuerdo con el sistema de clasificación FAO-DEFENAL (S.P.P., 1981), estos suelos han sido clasificados como vertisoles pélicos (Vp). "Suelos que presentan una textura fina, arcillosos, de manera que al estar húmedos son muy plásticos lo que hace que sean muy difíciles de manejar, pudiendo ser impermeables al agua de riego o de lluvia, presentan alto contenido de material amorfo (alofano)".

El origen de los suelos de la F.E.S. Cunutilán, es a partir de material ígneo derivado de las partes altas que circundan a la zona (Formación aluvial).

De la Teja A. O. (1982), en estudios realizados en colaboración con alumnos de la propia escuela (F.E.S.-C.), reporta las siguientes características de una manera muy general.

Profundidad efectiva:	más de 1 m.
Color en Húmedo:	Negro a gris oscuro, con cromas 10 Y <sub>o</sub>
Textura:	Textura fina; arcilla a migajón (franco-arcillosa).
Estructura:	Bien desarrollada con bloques angulares y bloques subangulares, de tamaño fino.
Consistencia:	Dura a ligeramente dura en seco; consistencia friable en húmedo.
Adhesividad y Plasticidad:	Fuertemente adhesivos y plásticos a moderadamente adhesivos y plásticos.
Densidad aparente:	Densidad aparente baja, 0.89 a 1.24 g/cc.
Densidad Real:	Densidad real baja, entre 1.91 y 2.50 g/cc.
Porosidad:	Poros pequeños y abundantes, 50% en promedio
Drenaje Interno:	Suelos drenados, Drenaje bueno a lento.
Presencia en raíces:	Raíces finas escasas hasta 1.30-1.40 m. de profundidad.

Todo esto es en cuanto a características físicas, pero en relación a las propiedades químicas, se encontró lo siguiente:

Conductividad Eléctrica: En el extracto de saturación (menos de 1 milimhos/cm. a 25°C.

Potencial Hidrógeno ( $P_H$ ): Varía ligeramente de ácido a neutro de 6-7 en relación 1: 2.5

% de Materia Orgánica: Varía de alto a medio de 2.11 a 4.32%.

Capacidad de Intercambio

Cationico Total: Alta. de 30 a 35 Meq./100 grs.

Nitrógeno: Variado, debido a las diferentes labores culturales que se han realizado en éstos.

Fósforo Disponible: En general son ricos en fósforo disponible para las plantas, entre 180 a 250 kgs. de P/hectárea. Suelos altamente fijadores de fósforo.

Potasio Asimilable: Suelos ricos en este elemento.

Para fines de la investigación en la parcela No. 11 se reportan las siguientes características (Cuadro No. III), en las cuales se apoya la determinación de los tratamientos a aplicar, y de alguna manera determinante ya que éstos influirán en los resultados.

CUADRO III: Análisis y Clasificación textural de la parcela No 11 (F.E.S.-C.).

PARCELA	PROFUNDIDAD (cm.)	ARCILLAS	LIMOS	ARENAS	CLASIFICACION
11	0-20	26.52	29.28	44.28	Franco
11	0.20	22.52	34.00	43.48	Franco
11	0-20	40.80	22.00	37.12	Arcilloso
11	20-40	22.52	29.28	48.20	Franco
11	20-40	22.54	33.25	41.45	Franco
11	20-40	40.88	24.00	35.12	Arcilloso

Asimismo en el siguiente cuadro presentamos en base a estudios físicos realizados por el Laboratorio de Suelos (L-211), de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, los resultados arrojados en cuanto a densidad aparente y real, (Cuadro No. IV)

CUADRO IV: Densidad Aparente y Real de la Parcela No. 11 (F.E.S.-C., U.N.A.M.).

PARCELA	PROFUNDIDAD (cm.)	D. APARENTE (g/cc)	D. REAL (g/cc)	% E.P.
11	0-20	1.17	2.25	48.02
11	0-20	1.20	2.23	46.60
11	0-20	1.12	2.30	51.32
11	20-40	1.02	2.26	55.04
11	20-40	1.07	2.16	50.50
11	20-40	1.13	2.34	51.77

\* Datos proporcionados por el Laboratorio de Suelos de la F.E.S.-Cuautitlán, U.N.A.M.; (1989).

### 3.2 PRIMERA ETAPA

ELABORACION, CALIBRACION Y OBTENCION  
DE LA CURVA DE HUMEDAD.

### 3.2.) Elaboración de Bloques de Yeso, su Calibración y Obtención de la Curva de Humedad.

Basicamente el desarrollo de la fase experimental se divide en dos etapas, las cuales tuvieron una modalidad diferente por lo que las ubicaremos de manera particular.

La primera etapa comprendió la elaboración de los bloques de yeso y la realización de la curva de humedad, los cuales se hicieron en los Laboratorios de R.A.S.P.A. (Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera), pertenecientes al Colegio de Post-Graduados, Montecillos, México.

En este laboratorio se nos proporcionó el material y el apoyo necesario para llevar a cabo esta etapa.

Los resultados obtenidos del presente trabajo se presentarán en dos fases:

La primera fase comprende la elaboración y calibración de bloques de yeso tipo Henderson modificado, y para ello se darán los resultados obtenidos que incluyen una serie de procedimientos o pasos que se realizaron en los Laboratorios de R.A.S.P.A.

Para ello daremos la metodología completa, así como los materiales necesarios en la elaboración y calibración de los bloques de resistencia eléctrica. Es necesario aclarar que la metodología concerniente a la construcción de los bloques de yeso forma parte de nuestros resultados.

#### Elaboración de Bloques de Yeso

Material: 100 bloques.

CONCEPTO	CANTIDAD
Yeso de Paris ó Tigre	10 kgs.
Bases de Huibo de 8 patas	100 piezas

CONCEPTO	CANTIDAD
Alambre de Cobre adjunto o estañado	3 m.
Resina poliéster u otra resina que endurezca rápidamente	1 lto.
Catalizador P.M. E.C. *	250 grs.
Acelerador R.P. 126 *	200 grs.
Monómero de Etireno *	1/2 lto.
(* Estos tres materiales se compran de acuerdo a la resina utilizada).	
Alambre plastificado No. 20 de dos polos	100 m.
Spaguati eléctrico	1m.
Soldadura de 1/2 y 1/2	1/2 kg.
Soldadura rollo	1 m.
Cinta (Masking Tape) ancha de 5 cm.	1
Cinta (Masking tape) ancha de 2.5 cm.	1
Lija de agua (Hoja)	1
Mechero	1
Maya (de mechero)	1
Tijeras	1
Soquet provisto con foco	1
Lechada de yeso (en una tina)	1
Agua destilada (la necesaria)	1
Yeso de precipitado (los necesarios)	4
Pipeta	1
Balanza analítica	1
Cautin y pasta	1

#### Metodología:

- 1.- Se corta el alambre adjunto en segmentos de 10 cm.
- 2.- Se pasan por fuego; los alambres de cobre adjunto aproximadamente 500 segmentos para 100 bloques, se pasan por fuego para eliminar el material plástico que lo recubre.
- 3.- Se lijan perfectamente para eliminar el material plástico.
- 4.- Una vez limpios se introducen en cada uno de los orificios de los volbos, tratando de que sobresalgan 2 mm. en la pata del bulbo. (Fig. 1)

5.- Se calienta la soldadura en un recipiente metálico (soldadura de 1/2 y 1/2), con un mechero, hasta que quede líquida.

6.- Una vez líquida la soldadura, se introducen las patas de los bulbos en ésta, tratando de que no se muevan los alambres adjuntos introducidos en el otro extremo, para ello se debe evitar que quede mucha soldadura en la pata de los bulbos. (Fig. 2)

7.- Una vez soldados se separan los alambritos en el extremo de las patas del bulbo y se van haciendo parejas de dos, de tal manera que a tres pares se les coloque el espagueti eléctrico.

8.- Sobre el cuarto par que quedó sin spagueti, y tomando a los otros tres pares se unen por un cobre circulatorio, es decir que las parejas se realizan en forma intercalada (No. 1, 3, 5 y 7), y en seguida se juntan colocándolos a todos el espagueti, de igual manera se hace con los pares, de tal manera que quedan dos extremos o puntas, se enredan y se cortan al nivel de la base (1 cm.) Con el fin de evitar que hagan contacto los alambres de un polo con los de otro, en cada intersección se coloca en uno de los alambres un pedacito de espagueti para aislarlo.

9.- Estas puntas se soldan a su vez con el alambre eléctrico plastificado del no. 20 (Fig. 4). La longitud del alambre de dos polos depende de la profundidad a la cual irá el bloque en el campo.

10.- Las bases de bulbo soldados con el cable eléctrico se colocan en una solución jabonosa por espacio de 24 horas para eliminar la grasa de la pasta para soldar.

11.- Al extremo del cobre eléctrico hay que quitar 2 cm. de plástico y se soldan, ya que estos polos se conectarán al puente de Boyoucouc. (Medidor de Humedad)

12.- Se cortan pequeñas fracciones de la cinta de masking tape de 2.5 cm., para que éste se acondicione al extremo de las patas del bulbo en forma de molde enrollándolo. (Fig. 5)

13.- De la misma manera se realiza un molde con la cinta de masking tape de 5 cm. en la parte de las patas de los bulbos, es preferible realizar esta parte en primer lugar, por facilidad de manejo y en seguida la parte anterior. Se procura que el molde

de las patas de los bulbos quede perfectamente circular.

14.- Para la preparación de la solución de yeso, se coloca en un vaso de precipitado 14 grs. de yeso y 16 ml. de agua destilada, se agita durante tres minutos esta mezcla y se va vaciando sobre cada molde de 5 cms. de ancho. (Fig. 6)

15.- Una vez que todos los bulbos se han terminado de vaciar con el yeso, se espera por un espacio de dos horas, y en seguida se colocan en una charola y se ponen a secar al sol por un espacio de tres días.

16.- Antes de colocar la resina en la parte posterior de la pata de bulbo, se cerciora que los alambres estén perfectamente soldados por medio del soquet, esto con la finalidad de evitar un corto.

17.- Se realiza una prueba de corriente eléctrica para ver si existe humedad, y si es así se ponen a secar.

18.- Se prepara la solución con resina agregando en un vaso de precipitado 900 ml. de resina poliéster hasta la marca ó un poco más, y en seguida se agregan 30 gotas de catalizador P.M.E.C. (Sol. transparente) y 60 gotas de monomero de estireno (sol. morda), el número de gotas pueden ser en su caso 15, a la vez se agrega un chorrillo de acelerador R.P. 126.

19.- Previamente a esto, se cortan pequeños trozos de masking tape de 2.5 cms. de ancho y se ponen en la parte posterior de las patas del bulbo tratando que estos moldes sean lo más circulares posibles.

20.- Se colocan los bloques con el alambre eléctrico sobre una madera, de manera que queden perfectamente rectos, al momento de agregar todos los reactivos a la resina se trata de agitar la solución con un agitador para que al momento de agregar el acelerador no se endurezca rapidamente, esta solución se agrega de manera inmediata a cada uno de los moldes que cubren los 2 cms. aproximadamente, la reacción se presenta al incrementar en la solución la temperatura, esta resina debe cubrir 0.5 cms. del cable de dos polos, el material se seca en un promedio de 6 horas.

21.- Ya seca la resina se elimina el masking tape, tanto de la parte con yeso como la que posee la resina sólida.

22.- Completamente secos los bloques, se curan con agua saturada de yeso, dejándolas por unas 3 a 4 horas y procurando mover con mucho cuidado esta solución, esto se hace una vez al día durante 3 días. (Fig. 7)

23.- Terminando cada prueba de tratamiento en la solución con yeso se verifica con un foco conectado y bloqueando un polo y que éste no encienda, colocando los cables positivo y negativo sobre la línea del cable del foco, esto a manera de puentearlo.

24.- Una vez ya probados los bloques en cuanto al paso de corriente por medio de un socket, se realiza otra prueba que consiste en sumergir cada bloque en agua y se conectan los extremos del alambre al aparato medidor de humedad del suelo, verificando que éstos den lecturas del 100% de humedad.

Por otra parte en cuanto a la calibración de los bloques de yeso (Resistencia eléctrica), y la obtención de la curva de humedad, se realizó lo siguiente:

Calibración de Bloques de Yeso y Obtención de la Curva de Humedad.

Material.

CONCEPTO	CANTIDAD
Membrana Visking	1
Olla de Presión (Richard, L.A., 1948)	1
Muestra de suelo tamizado	2 kgs.
Bolsas de polietileno (1/2 k.)	6
Bolsas de polietileno 1 kg.	6
Balanza granataria	1
Bloques de yeso (Resistencia eléctrica)	6
Puente de Boyoucoucous (Medidor de humedad)	1
Pipeta graduada	1
Cinta métrica	1
Etiquetas	6

Procedimiento:

1.- En primer lugar, se colocan en la olla de presión pequeñas

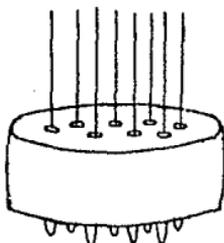


FIG. 1 COLOCACION DEL  
FILAMENTO ELECTRICO A  
LA BASE DEL BULBO.

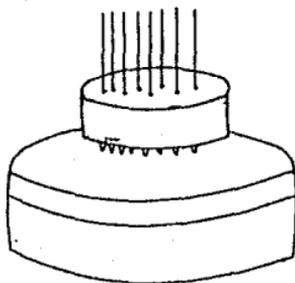


FIG. 2 COLOCACION DE LA BASE DEL  
BULBO CON LOS FILAMENTOS ELECTRICOS  
EN LA SOLDADURA LIQUIDA.

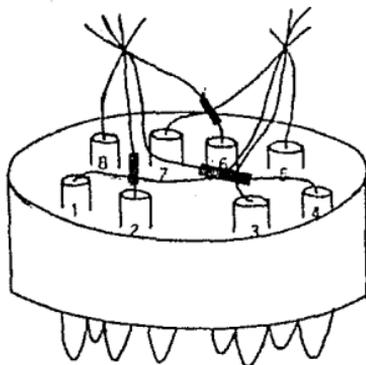


FIG. 3 DISTRIBUCION DE LOS FILAMENTOS EN LA BASE  
DEL BULBO.

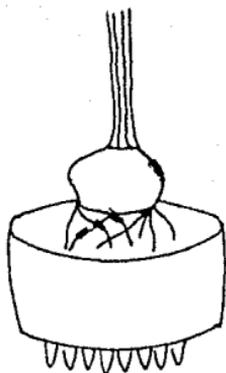


FIG. 4 UNION DE LA BASE DEL  
BULBO CON ALAMBRE ELECTRICO  
DE DOS POLOS.

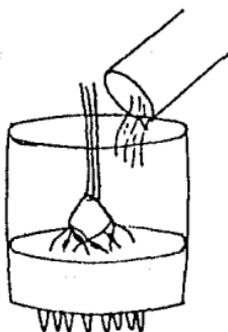


FIG. 5 MOLDE Y LLENADO  
CON SOLUCION DE RESINA.

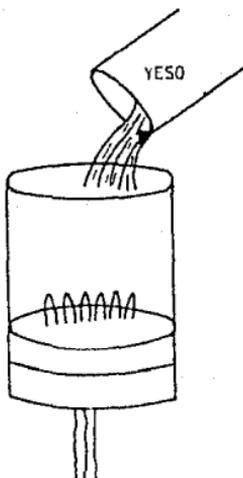


FIG. 6 MOLDE Y LLENADO CON YESO.

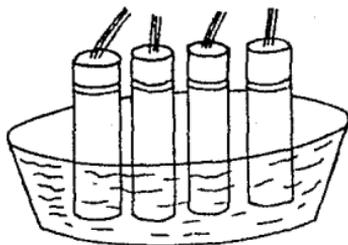


FIG. 7 CURADO DE LOS BLOQUES  
CON AGUA Y YESO.

muestras de suelo que van acorde al tamaño del molde que contiene el plato poroso. Regularmente se ponen 3 muestras por profundidad, en este caso se colocaron 6 muestras, 3 a 0-20 y 3 a 20-40, se saturan completamente con agua destilada o potable. Al poner el plato poroso en la olla, ésta se trabaja a una presión de tres bares (Capacidad de Campo), de esta manera la olla permitirá pasar el agua que no puede retener en el suelo. Cuando deje de pasar el agua se quita la tapa y las muestras se colocan en botes de aluminio, se pasan y se determina el P.h. (Peso húmedo).

2.- En el plato poroso de la membrana se colocan de igual manera las muestras de suelo a dos profundidades y se trabaja a una presión de 15 bares, que corresponde a Punto de Marchitez Permanente, una vez que pasan 24 horas se ponen en una estufa por el mismo tiempo a 110°C, se pesan las muestras, es decir dos profundidades, 0-20 y 20-40 cm., ocupando únicamente 200 grs. por muestra y se llevan una vez pesadas a punto de saturación con una pipeta, regularmente se utiliza de 40 a 50 ml. de agua, pero esto va a depender del tipo de suelo, en este caso como es arcilloso se utilizó tal cantidad.

3.- Con los datos obtenidos de la olla de presión, que para este caso fué de 29.40% de humedad a una tensión de 0.3 bares, y para la membrana de presión de 15.40% de humedad, a una tensión de 15.00 atmósferas o bares, siendo el punto de saturación a 45% de humedad de las dos profundidades, se procede a obtener los diferentes valores, los cuales se procesan mediante un programa del paquete de computación del Centro de Hidrociencias, el cual da una serie de promedios en porcentaje de humedad y su correspondiente valor en atmósferas, tanto para una como para otra profundidad.

Los valores anteriormente citados corresponden únicamente a una profundidad de 0-20 cms., pero se toman estos ya que el índice de correlación es perfecta con un valor de +1.

(CUADRO No. 5)

HUMEDAD (%)	TENSION (Atm.)
29.94	0.30
24.31	1.00
18.52	5.00
16.49	10.00
15.41	15.00
14.68	20.00

CUADRO V: Valores estimados por la ecuación en % de humedad, tensión en atmósfera, para la parcela no. 11 de la F.E.S.-Cuautitlán, U.N.A.M.

Con estos valores se procede a obtener la cantidad de agua a aplicar a cada una de las muestras para obtener la curva de humedad.

4.- Se procede a llenar las bolsas de polietileno con 1/2 k. de suelo de acuerdo a las atmósferas obtenidas por la ecuación del programa tomando únicamente la inicial y luego de cinco en cinco, en el caso de que el coeficiente de correlación sea cero, las profundidades para obtener la curva se manejarán por separado para cada una de las profundidades. En este caso se manejaron 6 bolsas de acuerdo a los valores obtenidos.

5.-Con los valores obtenidos en el programa se procede a calcular la cantidad de agua en ml. a aplicar en cada bolsa con suelo.

HUMEDAD (%)	AGUA (ml.)
29.94	299.4
24.31	243.0
18.52	185.2
16.49	164.9
15.41	154.1
14.68	146.8

CUADRO VI: Relación de valores entre los porcentajes de humedad y los ml. de agua obtenidos para cada tratamiento.

Con la cantidad de agua en ml. se procede a aplicar con una pipeta graduada el agua que se determinó en base a ciertos cálculos, y para ello se aplica la cantidad especificada de tal manera que ésta quede perfectamente distribuida.

6.- En seguida se integran a las bolsas los bloques previamente probados, por medio de un recipiente de agua en el cual permanezcan por lo menos 10 horas, dando al final el 100% de humedad en el puente de Hoyoucouc, estos bloques se colocan de tal manera que queden bien contrados.

7.- Se cierran herméticamente las bolsas utilizando las ligas, se debe de tener cuidado que al poner los bloques el cable sobresalga lo suficiente para tomar las lecturas con el medidor de humedad.

8.- A cada una de las bolsas se les coloca una etiqueta especificando las particularidades del tratamiento.

9.- Se toman las lecturas cada tercer día a la misma hora, y cada que se realice ésta, se sacan los bloques y se los quita el suelo impregnado en ellos, se agita la bolsa de manera de distribuir perfectamente la humedad, en seguida se vuelve a introducir el bloque de resistencia eléctrica y se presiona la bolsa para que el bloque quede perfectamente en el centro.

10.- La toma de lecturas se realiza hasta que la mayor parte de las lecturas en ohms, se vuelvan constantes.

11.- Se construye la curva (gráf. 3) de humedad del suelo en una hoja de papel semilogarítmico de 3 escalas. Para ello utilizamos los datos obtenidos de las 6 bolsas de polietileno que son las lecturas constantes de ohms.

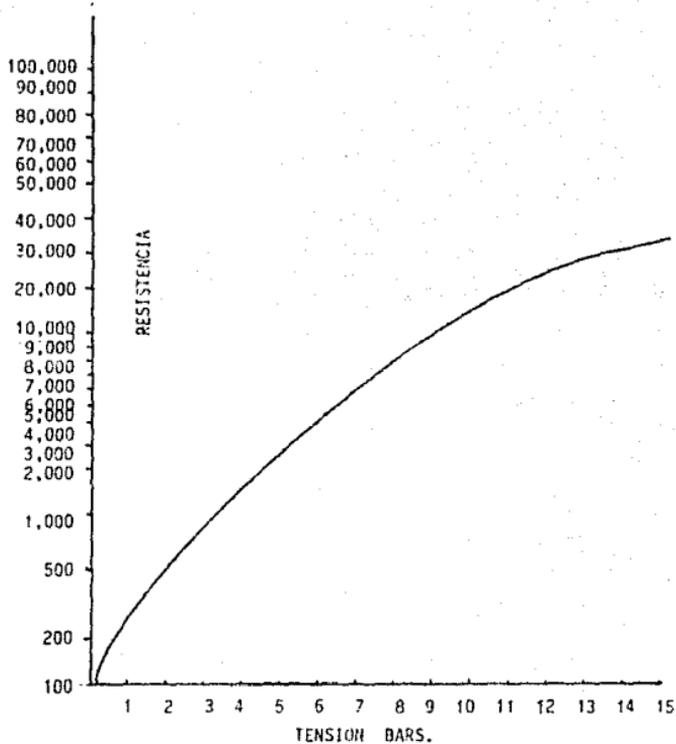
A continuación presentamos un cuadro de valores en base al muestreo, realizado en la parcela no. 11 de la F.E.S.-Cuautitlán. Pero básicamente se tomarán los valores que tengan una secuencia lógica, de otra manera los datos no entran en la curva, es por ello que se deben tomar más de cuatro tratamientos.

HUMEDAD (%)	TENSION (atm)	LECTURAS CONSTANTES (ohms)
29.94	0.3	100
24.31	1.0	300
18.52	5.0	2,120
16.49	10.0	4,600
15.41	15.0	1,590
14.68	20.0	30,000

CUADRO VII: Relación de datos en % de humedad, tensión y valores constantes en Ohms.

Con estos datos se construye la curva de calibración de los bloques de yeso, pero se debe tener cuidado de graficar unicamente aquellos valores que tengan cierta secuencia, los no secuenciales se deshechan.

En la gráfica 3 observamos que a medida que disminuye la humedad en el suelo, la tensión tiende a hacerse infinita. Por el contrario, cuando la tensión es mínima, ésta no tiende hacia el infinito, ya que el suelo tiene cierta retentividad de humedad cuando se encuentra a una determinada tensión, pero nunca se sabe cuál es ese valor ya que variará dependiendo del tipo de suelo.



GRAF. 3

PARCELA No. 11

CURVA DE CALIBRACION DE LOS BLOQUES DE YESO TIPO HENDERSON

TENSION	RESISTENCIA
0.3	100
1.0	300
5.0	2,120
20.0	30,000

### 3.2.2 Análisis y Discusión.

#### a) Elaboración de Bloques de Yeso.

La elaboración de estos instrumentos de determinación del contenido de humedad no requieren de una gran infraestructura para su construcción, por lo que ésta puede ser realizada fácilmente, ya que por una parte el material utilizado es de uso común en el mercado, ahora bien el yeso que se utiliza en cierta forma determina el grado de absorción, desprendimiento del agua, por ello se debe seleccionar un yeso de calidad como lo es el de paris o el marca tigre que reflejan las características del suelo, otro aspecto que es importante es la relación agua-yeso, dado que en nuestro caso el yeso que se utilizó determinaba el grado de absorción, debido a que el valor del potencial hídrico es mayor en el suelo que en el material poroso del bloque y éste se refleja como sigue.

Cuando la relación agua-yeso es alta, permite una entrada de agua y salida a tensiones bajas, por el contrario una relación baja disminuye la porosidad y por ende la entrada y salida de agua ocasionando lecturas erróneas como lo reflejan nuestros resultados.

Es de relevante importancia eliminar los poros que presentan un diámetro mayor, debido a que esto no permite una aceleración de la velocidad de respuesta entre el bloque y el aparato que registra las tensiones en Ohms en el suelo.

Como complemento, en la elaboración de los bloques el uso determinado de un tipo de yeso determina también el grado de sensibilidad en función de la conductividad eléctrica, finalmente se debe tener especial cuidado en el adecuado uso de reactivos compatibles en su composición química con la resina utilizada para lograr una perfecta estructura de la base del bulbo y estética del bloque, de otra manera se obtendría un conglomerado de baja calidad y fragilidad.

Asimismo se debe tener cuidado de que los filamentos conectados a la base del bulbo queden aislados previo al vaciado de la resina, de lo contrario se tendría el problema de que el puente de Boyoucouc marque siempre lecturas a Capacidad de Campo.

b) Calibración de Bloques de Yeso.

Parte fundamental de esta etapa consistió en el uso de aparatos sofisticados tales como la Olla de Presión y la Membrana Visking, dado que este tipo de aparatos son de uso delicado y muy costoso, no se sugiere que lo utilice una persona sin conocimiento previo a su funcionamiento.

Se consideró una tensión de 0.3 atmósferas debido a que cuando el agua del suelo se encuentra en los microporos, los macroporos están ocupados por aire y el suelo estará a Capacidad de Campo. Al hablar de Capacidad de Campo estamos hablando de que todos los coloides del suelo están ocupados por agua, aquí nosotros hablamos de Capacidad de Campo, pero en realidad el sistema dinámico en el movimiento del agua está determinado por medio del drenaje, evaporación, etc...., que son factores por los que no se alcanza Capacidad de Campo, así que dudamos de que en el experimento se haya llegado a este punto.

En lo que corresponde a 15 atmósferas, tenemos que los microporos pierden agua dirigiéndose a microporos más pequeños, de tal forma que la planta perderá turgencia y estaremos hablando de Punto de Marchitez Permanente. Por ello se ha demostrado que la retentividad del agua en el suelo está en función del % de espacios porosos e indirectamente relacionado con la textura del suelo por lo que pueden aumentarse las atmósferas en éste, para llevar a Punto de Marchitez Permanente va a depender del tipo de suelo con el que se esté trabajando, además de las condiciones en que se realice la calibración.

Una parte fundamental en el proceso de calibración lo constituye el dato arrojado por la correlación, ya que ubicándonos en nuestro caso, éste fué de +1, lo que significa que las muestras

0-20 cm. y 20-40 cm., no presentan diferencias significativas, resultando homogéneas, siendo por esto que se construye una sola curva de calibración de la parcela no. 11 de la F.E.S.- Cuautitlán, más en otro caso el coeficiente es diferente uno de otro, tendremos la necesidad de construir 2 curvas, en su defecto también creemos que las profundidades seleccionadas no fueron representativas, por lo que se sugiere ubicar los bloques a otras profundidades en próximos experimentos.

La importancia de esta curva de humedad (Gráf. 1), es mostrar la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente, así como la humedad aprovechable y ubicarnos dentro de un rango de humedad que varía entre 0.3 atmósferas y 15 atmósferas respectivamente, la calibración de los bloques se obtiene cuando a través del Puente de Boyoucouc se registran lecturas constantes, ya que al tener las bolsas cerradas con cada tratamiento, podemos inferir que no se perderá ni ganará humedad al interior de la bolsa, por lo cual existirá una diferencia de potencial hídrico entre el suelo y el bloque, iniciando así un intercambio de humedad entre estos dos, por ende al equilibrarse la humedad entre estos dos, se inicia el registro de lecturas constantes, siendo así cuando se obtiene una calibración de los mismos.

Pero consideramos que este método de calibración en laboratorio no es exacto ya que pasa desapercibido todos los factores ambientales que pueden causar variaciones en el suelo, por ello es más recomendable realizar esta calibración pero en el campo en donde se tiene el efecto de los factores del clima.

La curva de humedad además de contener información como la ya mencionada, también nos indicará en que momento se debe aplicar el riego, al extrapolar las lecturas obtenidas de los bloques de yeso a través del puente de Boyoucouc (Ohms), a porcentaje de humedad representado por las abscisas de la curva.

Por otra parte al utilizar los valores registrados en Ohms, de

una manera indirecta, podemos iniciar una relación entre la tensión y la humedad del suelo en la que el cultivo responda hacia un mayor rendimiento, esto de manera general para algunos cultivos.

El comportamiento de la curva se explica en este caso, dado que en los terrenos de la F.E.S.-Cuautitlán existe una gran cantidad de arcillas lo que permite que la curva alcance por unos momentos su Capacidad de Campo, ya que en estas texturas la velocidad de infiltración es menor que en suelos tanto limosos como arenosos, por lo tanto al graficar los datos obtenidos en porcentaje de humedad nos dará un verdadero valor de como se encuentra nuestro suelo.

### 3.2.3 Conclusiones, de la Primera Etapa

Los bloques de yeso (resistencia eléctrica), tipo Henderson modificado son de fácil elaboración, por lo que pueden ser construidos en los laboratorios de la F.E.S.-Cuautitlán, U.N.A.M. u otra institución educativa, para futuras investigaciones.

Para realizar la curva de humedad de los bloques de yeso, es necesario poseer infraestructura de laboratorio, la cual es muy costosa, como lo es la Membrana Visking y la Olla de Presión, además este tipo de material para su uso requiere de un conocimiento técnico científico.

Hasta el momento en ningún trabajo se ha reportado paso a paso, la elaboración de los bloques de yeso, y de alguna manera esto servirá como material de apoyo a diversos trabajos relacionados con el tema.

La curva de humedad es determinante para observar el comportamiento de un cultivo a diferentes niveles de humedad, ó que humedad es la suficiente y en qué momento se debe aplicar para satisfacer las necesidades que éste requiere.

La curva de calibración de los bloques de yeso bajo condiciones de campo, da el comportamiento real del contenido de humedad en el suelo a diferencia de la que se realiza en el laboratorio que tiene una baja confiabilidad.

El comportamiento de la curva de calibración de los bloques de yeso va a depender básicamente de las características físicas del suelo, así como del material absorbente.

## PARTE EXPERIMENTAL

### 3.3 SEGUNDA ETAPA:

VALIDACION EN FUNCION DE LA CORRELACION

RENDIMIENTO-CONTENIDO DE HUMEDAD EN

NOPAL DE VERDURA (*Opuntia ficus indica*)

La segunda etapa se realizó en los terrenos de la F.E.S.- Cuautitlán, U.N.A.M., y para este caso se vió la necesidad de utilizar un diseño experimental, el cual fué elegido basándonos en las sugerencias de personas con experiencia en el área de Experimentación y Estadística.

### 3.3.1.1 Metodología para la Colocación de Bloques de Yeso en la Parcela Experimental.

Previo a la colocación de los bloques de yeso, éstos se introducen en agua potable o destilada hasta su saturación, ya que al ser colocados en el suelo no absorberán humedad del medio, además de esta manera se probarán con el medidor de humedad para ver que den el 100% de humedad, y sólo éstos serán enterrados en el lote experimental.

En segundo término, se procedió a etiquetar los bloques de acuerdo a la profundidad, que en este caso fué de 0-20 cm. y de 20-40 cm., y también acorde al tratamiento en cuanto a agua a aplicar. Se seleccionaron los lugares en forma aleatoria para su colocación, dejando 2 bloques por tratamiento y 4 en los testigos, de tal manera que se utilizaron 32 bloques de yeso.

Para introducirlos se procedió a realizar un orificio de igual diámetro o ligeramente mayor a los bloques, para ello se utilizó la Barrera Veinmeyer, realizando orificios de 0-20 y 20-40 cm.

Los bloques se colocaron y cubrieron con el mismo suelo que se extrajo y teniendo cuidado que quedaran perfectamente verticales y que la tierra extraída no se invirtiera al colocarse el bloque. Se apisona bien la tierra y se lleva a saturación.

Por último se va verificando que las lecturas que den en base al método gravimétrico y medidor de humedad no rebasen los tratamientos seleccionados.

### 3.3.1.2 Metodología para la Colocación de Microtúneles.

Para la colocación de microtúneles se adquirieron 11 kgs. de plástico transparente calibre 600 térmico, 24 m. de varilla de 3/4 y pintura blanca de aceite.

#### Procedimiento:

1.- Se cortan las varillas con una longitud de 4-5 m., y éstas se colocan a 3 m. de separación entre una y otra a lo largo de la nave experimental, formando un arco en cada una de ellas.

2.- Se entlorran los extremos de las varillas en el suelo y amarrados a estacas con alambre, se pinta cada arco de varilla con el objetivo que al calentarse ésta, no se quome el plástico.

3.- Se busca la altura adecuada, en este caso fué de 1.30 m., de manera que se mantenga una población uniforme en cuanto a su altura, es decir para ello se realizan podas de orejas de conejo sobre la planta madre, se considera buena una altura de 20 cm. (Fig. 8)

4.- Ya colocados los arcos se lleva a cabo un amarre con hilo de rafia por la parte central y a los extremos, de tal forma que exista rigidez entre arcos. (Fig. 9)

5.- Se extiende y corta el plástico a la medida deseada tratando de cubrir en su totalidad la nave experimental a excepción de los testigos. Este será colocado de manera que cubra a lo largo y ancho.

6.- Una vez realizado lo anterior, se introduce en el extremo de cada varilla un gancho, y se estira el plástico, para proceder a realizar un amarre con hilo de rafia en zig-zag, sobre la estructura de la varilla. Para ello se comienza de la base a la primera varilla, a la base de la segunda del lado opuesto y así sucesivamente, hasta llegar por cada lado a la última varilla. (Fig. 10) y (Fig. 11)

El polietileno se recorrió hacia arriba a las 8:00 A.M. y se desplegab a las 18:30 P.M., esto se realizó todos los días durante el periodo experimental, sólo en el caso de lluvia ó en

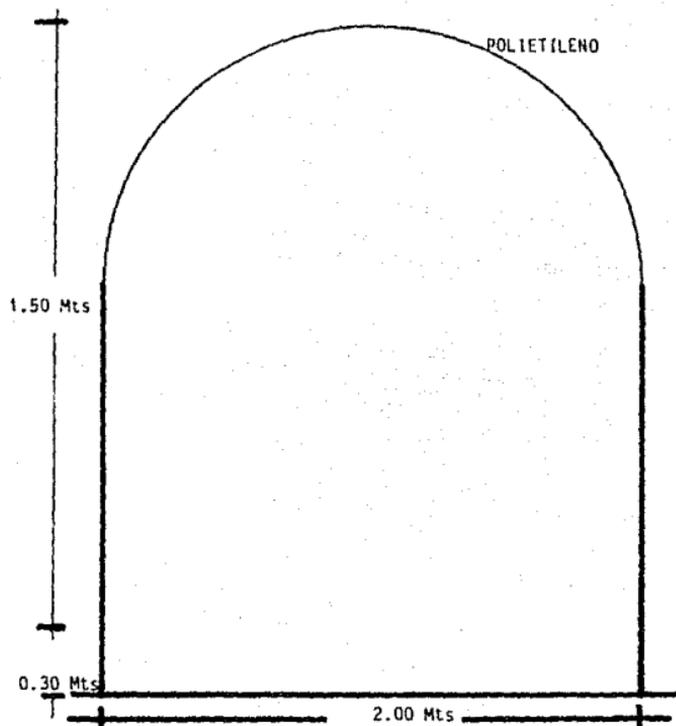
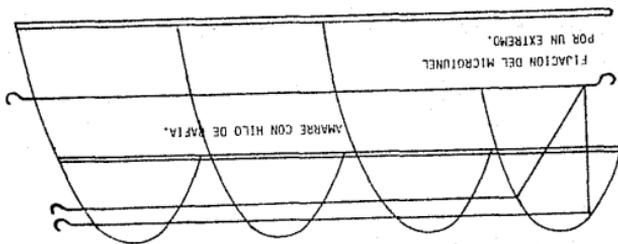


FIG. 8 ALTURA DE LA ESTRUCCURA DE VARILLA Y POSICION DEL POLIETILENO EN LOS MICROTUNELES.

FIG. 9 POSICION DE LOS MICROTUNELES EN UN SISTEMA DE PRODUCCION INTENSIVO.



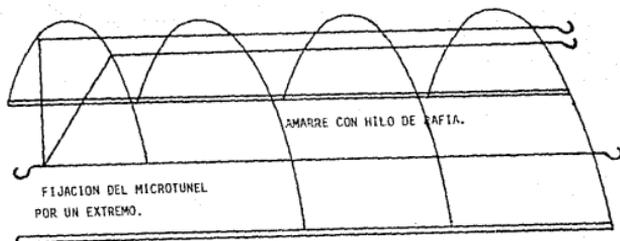
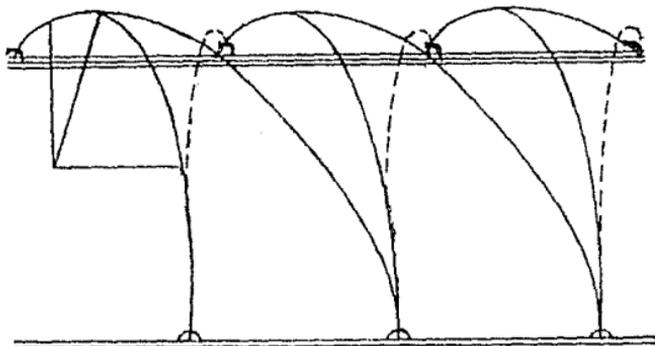


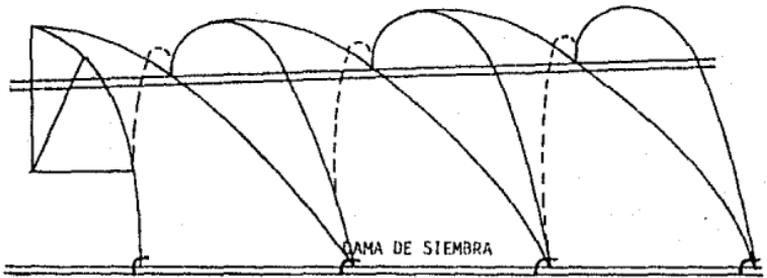
FIG. 9 POSICION DE LOS MICROTUNELES EN UN SISTEMADE PRODUCCION INTENSIVO.

FIJAR UNA PUNTA DEL HILO EN EL GANCHO DEL ARCO



FIJAR EL GANCHO DEL ARCO.

FIG. 10 DISTRIBUCION DEL HILO DE RAFIA EN LA ESTRUCTURA DE VARILLA EN EL MICROTUNEL.



PASILLO

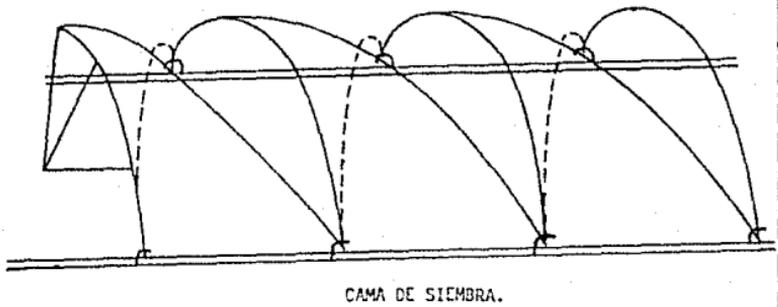


FIG. 11 SEPARACION ENTRE MICROTUNELES.

días muy fríos lo que se hacía era desplegar el plástico, con la finalidad de evitar en lo posible que existiera incorporación de humedad adicional a las unidades experimentales, a la vez proteger de las heladas al cultivo, y de alguna manera, esto altera los resultados.

### 3.3.1.3 Metodología para la Toma de Lectura.

Las lecturas fueron tomadas cada tercer día por las mañanas, el procedimiento para esta toma es simple, unicamente se deben conectar los cables procedentes de los bloques de yeso al puente de Boyoucouc. Se debe tener precaución de que la toma de lecturas se realice siempre a la misma hora del día, ya que de otra manera variarán debido a la fluctuación de la temperatura en su marcha a través del día.

Las lecturas se registran en el puente de Boyoucouc están dadas en ohms, el puente cuenta con una escala que va de Capacidad de Campo en un extremo y Punto de Marchitez Permanente al otro extremo.

La toma de lecturas se inició a partir del 15 de octubre de 1989 y finalizó el 24 de enero de 1990.

### 3.3.1.4 Metodología para el muestreo de humedad del suelo. (Muestreo Gravimétrico)

Este método consiste en tomar una muestra de suelo a la profundidad en la cual el sistema radicular del nopal realiza sus funciones de absorción de agua y nutrientes.

Este muestreo se llevó a cabo con la ayuda de una barrera Veinmeyer que consta de un tubo de hierro galvanizado de 1/4 de pulgada. Los muestreos se extraen a 10 cm. de distancia de los bloques de yeso y se obtienen varias muestras, unas de 0.20 cm. de profundidad y otras a 20-40 cm., más esto dependerá del tratamiento que sea muestreado. Obtenidas las muestras se

colocan en botes de aluminio cerrándolos perfectamente, se pesan con el suelo húmedo y se meten a la estufa donde permanecerán durante 24 horas a 110°C, con el objetivo de que las muestras lleguen a un peso constante. Los botes con el suelo seco se pesan nuevamente, como el peso de los botes ya lo conocemos, entonces, el % de humedad respecto al suelo seco será determinado por la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{(Psh - Pb) - (Pss - Pb)}{(Pss - Pb)} \times 100$$

Donde:

H = % de Humedad.

Psh = Peso Suelo Húmedo

Pb = Peso Bote.

Pss = Poso de Suelo Seco.

Toda la revisión consultada reporta que el método más exacto es el gravimétrico, aún más que el método de bloques de yeso, por ello se auxilian en trabajos de esta índole para corroborar la eficiencia de los aparatos medidores de la humedad, así como el material que se utiliza.

### 3.3.2 Diseño Experimental.

En función de lo antes mencionado, el diseño que más se acopló a las propias necesidades del experimento, es el conocido como "Completamente al azar", llamado también "Completamente Aleatorizado".

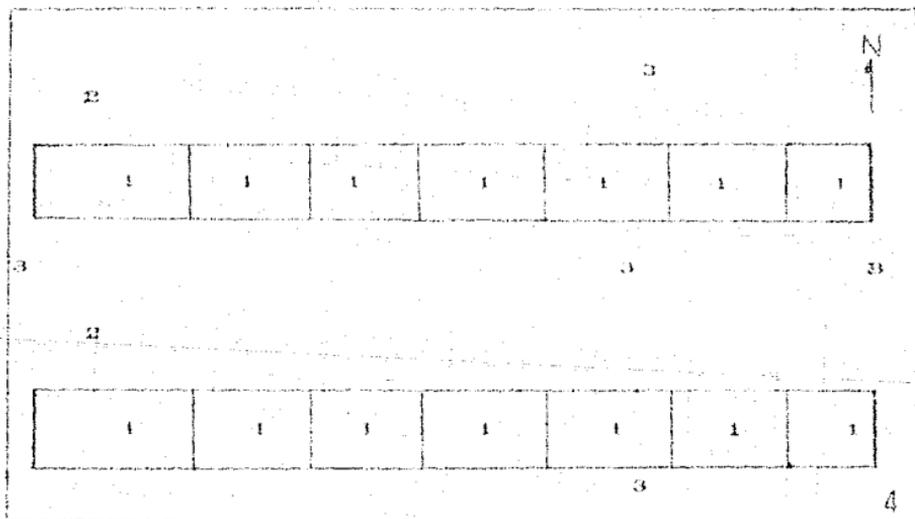
Es importante mencionar que se consideró la configuración espacial del terreno donde se montó el experimento, esto dado por el área del huerto del nopal que es un recurso útil ya establecido en las instalaciones de la F.E.S.-Cuautitlán, de tal manera que se plantearon los objetivos en base a ello.

En dicho huerto se encuentran dos naves de producción de nopal de verdura, variedad italiana, estas diseñadas para una producción latensiva con las siguientes proporciones:

CUADRO VIII.

UNIDADES	CONCEPTO	ANCHO	LARGO	M <sup>2</sup>	TOTAL
		EN M.	EN M.		EN M <sup>2</sup>
14	Unidades Experimentales	1.8	1.1	1.98	27.72
2	Naves Experimentales	1.8	10.2	18.36	36.72
	Varios Caminos y Pasillos Diversas Montañas				40.56
1	Parcela Experimental	6.9	11.2	77.28	77.28

CUADRO VIII: Dimensiones de la Parcela Experimental.



CUADRO IX: Ubicación de las Naves Experimentales.

FACTOR 1

FACTOR 2

N U M E R O  D E  N I V E L E S	Humedad del Suelo en atmósferas	Profundidad on cm.
	H1	P1 = 0-20 P2 = 20-40
	H2	P1 = 0-20 P2 = 20-40
	H3	P1 = 0-20 P2 = 20-40
	Testigo 4	2

Número de Tratamientos:  $4 \times 2 = 8$ 

CUADRO X: Consolidado de Especificación de Tratamientos.

NUMERO DE TRATAM.	TRATAMIENTOS CON SIMBOLOS	TRATAMIENTOS CON NIVELES	TENSION EN ATMOSFERAS	LAMINA DE RIEGO (cm.)
1	H1P1	24.31-0-20	1	23.76
2	H1P2	24.31-20-40	1	49.79
3	H2P1	18.52-0-20	5	52.80
4	H2P2	18.52-20-40	5	101.18
5	H3P1	16.49-0-20	10	62.30
6	H3P2	16.49-20-40	10	119.00
7	Testigo	Testigo		
8	Testigo	Testigo		

CUADRO XI: Relación de Valores estimados de Tensión en Atms., % de Humedad, L.R., para cada uno de los tratamientos de la Parcela No. 11, F.E.S.-Cuautitlán, U.N.A.M.

Ahora bien, en la parcela experimental se realizaron una serie de mejoras con el fin de crear condiciones favorables y adecuadas para la experimentación, como son: Limpieza del terreno, uniformidad de plantas madre, poda severa de brotes, lo que permitió controlar factores de confusión.

Los valores expresados fueron determinados de acuerdo a la curva de calibración de los bloques de yeso, y se seleccionaron considerando que las necesidades hídricas del nopal son muy bajas, recordando además que no se han realizado investigaciones donde se reporta la humedad bajo la cual el cultivo tenga una respuesta favorable para la producción.

Los bloques de yeso fueron colocados cerca de las raíces, a las profundidades ya mencionadas, para corroborar las lecturas arrojadas por los mismos bloques se llevó a cabo paralelamente el método gravimétrico.

En el terreno se colocaron 4 bloques por testigo y 2 bloques por cada unidad de tratamiento, lo que da un total de 32 bloques.

Cionfuegon I., F. (1984), indica que el diseño al azar es el más sencillo, en el que los tratamientos son el material experimental homogéneo. Las observaciones "Y" siguen una distribución normal "N", con media "M" y varianza "y". es decir:

$$y \sim N(M, \sqrt{y^2})$$

Cada tratamiento tiene dos repeticiones, por lo que tendremos una relación de datos. Se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, t = 6 \\ j = 1, 2, \dots, r = 2 \end{cases}$$

Donde:

$\mu$  = Al efecto de la media general que es una constante ó parámetro que caracteriza a la población.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

$t_i$ - Al efecto de la subpoblación ó tratamiento en estudio, es decir, es el efecto del i-ésimo tratamiento.

$E_{ij}$ - Es el error aleatorio para la j-ésima observación y repetición del i-ésimo tratamiento. Es importante recordar que ha sido generado en el experimento por los factores no controlados como es la temperatura, fallas o errores en las mediciones de interés, etc...

$Y_{ij}$ - Es el valor observado para la característica de interés o sea la característica en estudio. Para nuestro caso particular el rendimiento.

Por lo anterior la distribución de los tratamientos, así como la colocación de los bloques de yeso quedan en el campo de la siguiente forma:

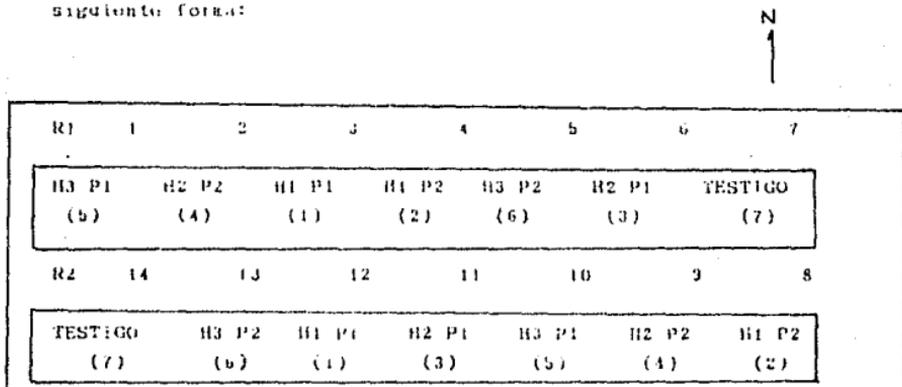


FIGURA 17: BLOQUES DE YESO Y UBICACION EXPERIMENTAL.

- En el ángulo superior derecho de cada parcela está anotado el número asignado a ella.
- En la parte central de cada parcela, está anotado el tratamiento y entre paréntesis el número correspondiente.

### Lámina de Riego.

La Lámina de Riego se define como la cantidad necesaria de agua a aplicar para que un cultivo pueda desarrollarse en cada una de las etapas fenológicas y a su vez se refleje en el rendimiento por unidad de superficie.

Pero este concepto involucra una serie de parámetros propios del suelo, tales como densidad aparente, profundidad y rango de humedad, como es la Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. Los parámetros ya mencionados se involucran en la siguiente fórmula:

$$Lr = \frac{Dap \times Prof (cc - T)}{100}$$

100

Donde:

FACTORES DE ESTUDIO	UNIDAD DE MEDIDA
Lr = Lámina de Riego	cm.
Dap = Densidad Aparante	gr/cc.
Prof = Profundidad	cm.
cc. = Capacidad de Campo	%
T = Tratamiento	%
% hum = Porcentaje de Humedad	%

CUADRO XII: Unidades que conforman la fórmula para determinar la Lámina de Riego.

Por lo que al aplicar una L.R. o en un determinado cultivo es necesario considerar estos aspectos en lo particular. La parte fundamental del experimento es aplicar diferentes tratamientos de humedad relacionándolos a profundidades y a necesidades básicas del cultivo para observar el comportamiento de éste en su producción.

Los rangos de disponibilidad de humedad son el límite superior de la Capacidad de Campo y el límite inferior de el Punto de Marchitez Permanente, éstos son determinados por la Olla de Presión y la Membrana Visking. Para nuestros fines se obtuvieron estos parámetros en los laboratorios de Hidrociencias (R.A.S.P.A.), pertenecientes al Colegio de Postgraduados de Chapingo.

El nopal posee una baja exigencia de humedad, por lo que para determinar las atmósferas con las cuales trabajar se tomó en cuenta la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente, con el uso del material antes mencionado se realizó un muestreo en la Parcela No. 11 de la F.E.S.-Cuautitlán.

En base a estos índices de capacidad de retención de agua de los suelos, se usaron para buscar cuáles serían las L.r. a aplicar.

Asimismo se partió del rango de disponibilidad de humedad superior con una tensión de 0.3 atm., que es cuando el agua se encuentra en los microporos, y por otro lado el rango de disponibilidad inferior con una tensión de 15 atm., que es el momento en que el agua se dirige a los microporos aún más pequeños.

TENSION (ATMS)	% HUMEDAD
1	24.31
5	18.52
10	16.42

CUADRO XIII: En este cuadro se muestra el % de humedad y su correspondiente en atmósferas.

$$L.r. = \frac{(1.17 \times 20) \times (29.94 - 18.52)}{100}$$

$$L.r. = \frac{23.4 \times 11.42}{100} = 2.67 \text{ cms.}$$

La Lámina de Riego obtenida es de 2.67 cm. para este tratamiento, pero para efectos prácticos se darán los resultados en litros por tratamiento.

L.r. para cada tratamiento:

H1P2 --- 49.79 l.

H2P2 --- 101.18 l.

H3P1 --- 62.3 l.

H2P1 --- 52.8 l.

H1P1 --- 23.76 l.

H3P2 --- 119 l.

Ejemplo: Transformación de unidades en centímetros a litros, para efectos prácticos en la Obtención de la Lámina de Riego.

Datos	Resultado
cms = 2.67	52.8 l.

a) 1 mt. --- 100 cm.  
 x --- 2.67 cm.  
 x => .0267 mt.

b) .0267 m. x 1.98 m<sup>2</sup> => .052866 m<sup>3</sup>

c) 1 l. --- 1000 m<sup>3</sup>  
 x --- .052866 m<sup>3</sup>  
 x => 52.8 l.

### 3.3.3 Cosecha.

Una de las principales variables que se manejaron fué el rendimiento en función de la humedad aplicada o contenida en el suelo. Por lo que la cosecha de brotes tiernos se realizó para cada uno de los tratamientos en forma separada con una población de 45 plantas madre. Se cortaban los brotes cada 8 días y para ello se seleccionaron los que tenían un tamaño comercial de 15 cm., además por cada unidad experimental se llevó a cabo un conteo y pesado de cada uno de ellos a fin de obtener un promedio de peso en peso en fresco de nopal por unidad.

El corte se realizó de manera manual con una navaja, cortando desde la base con el fin de ayudar a cicatrizar de inmediato la herida en la planta. El número de cosechas se determinó en base al periodo de mayor demanda en el mercado, dando como resultado 9 (nueve) cosechas realizadas a partir del 26 de octubre hasta el 19 de diciembre.

### 3.3.4 Comparación del Método Gravimétrico/Bloques de Yeso Tipo Henderson.

Una de las finalidades de esta segunda etapa del experimento, es corroborar la eficiencia y utilidad de los bloques de yeso (resistencia eléctrica), se vió la necesidad de utilizar otro método para determinar el contenido de humedad en el suelo, como ya se había mencionado anteriormente, este método es el Gravimétrico, que aunque no es hasta el momento el más preciso, si es de los más confiables, por lo que estas dos prácticas fueron llevadas conjuntamente para ver la forma en que se encuentran interrelacionadas.

La técnica de la Correlación Lineal servirá para estudiar entre dos o más variables. En el cuadro XIV se presentan los coeficientes de correlación "r" semanal, ya que la humedad se estaba determinando continuamente de tal manera de no dejar que éste sobrepasara los límites de los tratamientos, por el contrario, si únicamente en un experimento se determinara la humedad específica en un periodo dado sin que existiera alteración en ésta, la correlación sería corrida y el número de datos sería menor, o en su defecto, si las tensiones en atmósferas hubiesen sido mayores el intervalo de tiempo hubiese permitido reducir el número de datos a analizar.

Para analizar los datos se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de un evento, con los siguientes valores de significancia: 0.05 = 0.707 y al 0.01 = 0.534.

De acuerdo a estos valores se determinó, y apoyándonos en la

distribución normal, qué valores caían dentro de la aceptación de relación entre el método gravimétrico y los bloques de yeso en Ohms, así como los datos en ohms con las lecturas en porcentaje de humedad. Con base a los valores se realizará el análisis correspondiente para cada caso.

Dato 1	A Ohms	B Ohms	A B. Yeso	B B. Yeso	A M.Grav.	B M. Grav.
Ohms A	1		-0.2238		-0.2137	
Ohms B		1		-0.9307		-0.7854
B. Yeso A			1		0.0031	
B. Yeso B				1		0.8652
Dato 2	A Ohms	B Ohms	A B. Yeso	B B. Yeso	A M.Grav.	B M. Grav.
Ohms A	1		0.0288		0.0628	
Ohms B		1		0.3764		0.2305
B. Yeso A			1		0.8199	
B. Yeso B				1		0.3359
Dato 3	A Ohms	B Ohms	A B. Yeso	B B. Yeso	A M.Grav.	B M. Grav.
Ohms A	1		-0.8996		-0.1876	
Ohms B		1		-0.8764		-0.4655
B. Yeso A			1		0.3342	
B. Yeso B				1		0.6711
Dato 4	A Ohms	B Ohms	A B. Yeso	B B. Yeso	A M.Grav.	B M. Grav.
Ohms A	1		0.3362		-0.0871	
Ohms B		1		0.3652		0.1767
B. Yeso A			1		0.4016	
B. Yeso B				1		0.4747
Dato 5	A Ohms	B Ohms	A B. Yeso	B B. Yeso	A M.Grav.	B M. Grav.
Ohms A	1		0.8128		0.5193	
Ohms B		1		-0.7892		-0.5791
B. Yeso A			1		-0.3139	
B. Yeso B				1		0.6626

CUADRO XIV: Relación semanal de coeficientes de correlación "r", en dos métodos de determinación del contenido de humedad en el suelo.

\* Continúa

Dato	A	B	A	B	A	B
6	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		-0.7539		0.8608	
Ohms B		1		-0.8012		
B. Yeso A			1		-0.4635	
B. Yeso B				1		0.1147
Dato	A	B	A	B	A	B
7	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		-0.8032		-0.0737	
Ohms B		1		-0.8273		0.4334
B. Yeso A			1		0.2515	
B. Yeso B				1		-0.3874
Dato	A	B	A	B	A	B
8	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		0.4620		0.1096	
Ohms B		1		-0.8689		-0.0206
B. Yeso A			1		0.1585	
B. Yeso B				1		-0.2112
Dato	A	B	A	B	A	B
9	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		-0.8569		-0.308	
Ohms B		1		-0.7566		-0.111
B. Yeso A			1		-0.1657	
B. Yeso B				1		0.3025
Dato	A	B	A	B	A	B
10	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		-0.7265		-0.2964	
Ohms B		1		-0.7403		-0.3990
B. Yeso A			1	0.4436		
B. Yeso B				1		0.6550
Dato	A	B	A	B	A	B
11	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		-0.6876		0.5154	
Ohms B		1		-0.7188		-0.3313
B. Yeso A			1		-0.0163	
B. Yeso B				1		-0.3807
Dato	A	B	A	B	A	B
12	Ohms	Ohms	B. Yeso	B. Yeso	M.Grav.	M. Grav.
Ohms A	1		-0.6643		0.7051	
Ohms B		1		-0.7235		-0.1921
B. Yeso A			1		-0.7522	
B. Yeso B				1		0.4389

\* Continúa

Dato 13	A Ohms	B Ohms	A B. Yoso	B B. Yoso	A M. Grav.	B M. Grav.
Ohms A	1		-0.7342		0.0223	
Ohms B		1		-0.4381		0.3632
B. Yoso A			1		0.4264	
B. Yoso B				1		0.3034

### 3.3.5 Respuesta Rendimiento-Tensión del Suelo.

Como ya se ha mencionado en el desarrollo experimental, los resultados de éste servirán para determinar cuál tratamiento de humedad es el más indicado de acuerdo a los rendimientos y se interpretaron en base al diseño experimental propuesto, pero debido a que en la precisión experimental se cometió el error de tomar únicamente dos repeticiones, esto aumentó el error experimental, razón por la cual muy probablemente se obtuvieron diferencias no significativas.

Así, por las circunstancias en las cuales se vio envuelto el experimento, se reportan resultados mediante cuadros de medias, auxiliados con gráficas de barras para realizar el análisis de resultados.

Dado que el cultivo de nopal de verdura se presta para realizar cortes semanales, se pensó en hacer estas gráficas en forma semanal, para que así su interpretación fuera lo más explícita posible, pues con la total no se tomarían en cuenta los efectos climáticos y por lo tanto no sería representativo.

A continuación presentamos un cuadro ilustrativo donde se muestran las medias del número de brotes cosechados y del peso promedio por cosecha semanal, así como el porcentaje de humedad permisible en el momento de la cosecha, para que de esta manera los datos ó análisis sean mas reales.

Asimismo se presenta el cuadro No. XV como un apoyo en la interpretación de los resultados, ya que de esta manera observaremos que efecto tuvo la aplicación de agua a las unidades experimentales, de acuerdo al número de días de intervalo de riego.

TRATAMIENTOS CON SUS REPETICIONES	NUMERO DE RIEGOS			
	1	2	3	4
H2 P1 (3)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	20 Dic. 22
H2 P1 (3)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	20 Dic. 30
H1 P2 (2)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	20 Dic. 22
H1 P2 (2)	18 Sep. 0	16 Nov. 60	28 Nov. 11	20 Dic. 22
H1 P1 (1)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	20 Dic. 22
H1 P1 (1)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	20 Dic. 22
H2 P2 (4)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	28 Dic. 30
H2 P2 (4)	18 Sep. 0	17 Nov. 60	28 Nov. 11	20 Dic. 22
H3 P1 (5)	18 Sep. 0	16 Nov. 59	28 Nov. 12	20 Dic. 22
H3 P1 (5)	18 Sep. 0	21 Nov. 64	28 Nov. 7	28 Dic. 30
H3 P2 (6)	18 Sep. 0	17 Nov. 60	28 Nov. 11	*
H3 P2 (6)	18 Sep. 0	17 Nov. 59	28 Nov. 25	28 Dic. 30
Testigos (7) y (8)	No se riegan			

CUADRO XV: Intervalo en Días y Número de Riegos por Tratamiento.

\* No alcanzó el límite del tratamiento.

SEMANA	CLAVE TRAT.	NO. BROTES TIERNOS	PESO PROMEDIO EN GRS/BROTE	HUMEDAD PERMISIBLE (x)
1	Testigo **	8	41.7	22.5
	H1 P1 (1)	10.0	53.4	21.2
	H1 P2 (2)	9	62.5	24.5
	H2 P1 (3)	8	55.0	23.55
	H2 P2 (4)	8	56.3	24.5
	H3 P1 (5)	8	45.7	20.8
	H3 P2 (6)	8	61.6	20.6
2	Testigo **	7	53.0	28.4
	H1 P1 (1)	8	47.2	19.6
	H1 P2 (2)	10.0	76.8	31.5
	H2 P1 (3)	8	78.0	31.9
	H2 P2 (4)	7	71.0	28.8
	H3 P1 (5)	7	73.0	19.5
	H3 P2 (6)	8	69.8	28.0
3	Testigo **	7	42.5	18.7
	H1 P1 (1)	6	46.5	17.8
	H1 P2 (2)	9	51.0	21.1
	H2 P1 (3)	7	49.9	20.4
	H2 P2 (4)	6	56.9	20.3
	H3 P1 (5)	6	47.0	21.9
	H3 P2 (6)	10.0	54.9	16.45
4	Testigo **	15.0	59.5	16.0
	H1 P1 (1)	13.0	63.8	16.0
	H1 P2 (2)	13.0	55.0	17.0
	H2 P1 (3)	15.0	71.0	18.5
	H2 P2 (4)	20.0	61.0	18.0
	H3 P1 (5)	13.0	63.0	24.0
	H3 P2 (6)	11.0	59.0	16.5
5	Testigo **	11.0	63.0	19.9
	H1 P1 (1)	14.0	55.0	19.75
	H1 P2 (2)	18.0	83.0	17.2
	H2 P1 (3)	13.0	69.0	15.7
	H2 P2 (4)	15.0	60.5	40.03
	H3 P1 (5)	11.0	63.3	15.4
	H3 P2 (6)	8	67.0	15.0
6	Testigo **	4	41.0	25.0
	H1 P1 (1)	3	54.9	22.5
	H1 P2 (2)	2	50.0	18.0
	H2 P1 (3)	5	63.0	20.0
	H2 P2 (4)	1	36.8	19.0
	H3 P1 (5)	3	28.0	16.0
	H3 P2 (6)	2	61.0	22.0

\* Continúa

SEMANA	CLAVE TRAT.	NO. BROTES TIERNOS	PESO PROMEDIO EN GRS/BROTE	HUMEDAD PERMISIBLE (%)
7	Testigo **	7	53.0	17.5
	H1 P1 (1)	4	63.0	22.5
	H1 P2 (2)	3	55.0	18.5
	H2 P1 (3)	3	30.0	19.8
	H2 P2 (4)	8	71.0	19.4
	H3 P1 (5)	6	65.0	18.2
	H3 P2 (6)	3	60.8	19.5
	8	Testigo **	8	49.8
H1 P1 (1)		6	38.0	21.8
H1 P2 (2)		5	19.0	26.0
H2 P1 (3)		6	37.0	20.4
H2 P2 (4)		4	49.0	20.0
H3 P1 (5)		7	37.0	14.8
H3 P2 (6)		5	65.0	19.0
9		Testigo **	6	47.0
	H1 P1 (1)	5	49.0	18.5
	H1 P2 (2)	4	50.0	21.3
	H2 P1 (3)	5	50.0	18.5
	H2 P2 (4)	6	45.0	19.4
	H3 P1 (5)	3	53.0	16.5
	H3 P2 (6)	4	24.0	19.5
	** Testigo (7 y 8).			

CUADRO XVI: Relación Semanal Promedio de Brotes Tiernos, Peso por Brote y % de Humedad Permisible.

### 3.3.6 Análisis y Discusión.

#### Relación Tensión del Suelo-Rendimiento.

Basandose en las gráficas de barras y líneas (ver anexo), se pueden observar dos patrones de comportamiento en los resultados, esto se debe a que todos los tratamientos recibieron un riego inicial a Capacidad de Campo. El primero de ellos (gráficas 4 a 8), presentó un comportamiento muy similar al resto de los tratamientos (gráficas 9 a 12). Para el segundo caso, la frecuencia en los riegos trajo consigo un comportamiento que varió con respecto al primero, esto se puede explicar ya que la humedad en el suelo aumentó

considerablemente, lo cual inhibió la producción de brotes tiernos y en consecuencia el rendimiento. (gráfica 9 a 12)

Al observar los resultados, se puede apreciar que en la primera semana (26 de octubre de 1989), el testigo en relación al resto de los tratamientos, fué el que reportó menor producción y con menor peso fresco promedio (gr/brote), aunque el rendimiento fué similar para el resto de los tratamientos excepto para H1 P1 y H2 P2, donde el peso promedio varió para cada uno de ellos, la producción más alta se reportó para el nivel de humedad de 24.31 % (gráfica 4-6)

Para la segunda semana (31 de octubre de 1989), el mayor número de brotes se reportó para un nivel de humedad del 24.31% con sus respectivas profundidades, la humedad permisible varió entre 19.5% y 31.5%; para el resto de los tratamientos el número de brotes tiernos fué de 6 a 10, de éstos el peso promedio se encontró en los niveles de humedad 18.52% y 16.42%, H2 - H3 respectivamente. (gráfica 5)

Para la tercera semana (7 de noviembre de 1989), el tratamiento que observó el mayor número de brotes fué el representado con un nivel de humedad del 16.42%, con una humedad permisible del 17.8%, y en relación al testigo se manifestó un comportamiento estándar de producción de brotes. El mayor peso promedio (grs/brote), se tuvo en el tratamiento con un nivel de humedad del 18.52% y el porcentaje de humedad permisible lo ubicamos en un 20.5%. (gráfica 7)

Quinta semana (21.11.89), el mayor número de brotes se manifestó para el nivel de humedad más bajo (24.31%) con un porcentaje de humedad permisible similar. El testigo continuó comportándose en forma estándar. Para este mismo tratamiento se encontró el mayor peso promedio por brote. (gráfica 8)

El comportamiento de las gráficas 4 a 8 del anexo se pueden explicar por la siguiente razón:

El cultivo del nopal al ser manejado como una hortaliza, se comporta como una planta C 3, por lo que al incrementarse la temperatura y al cesar el nivel de humedad en el suelo, se da una apertura de estomas que al captar bióxido de carbono ( $CO_2$ ), se incrementará la producción de fotosíntesis, y esto actúa directamente sobre la estimulación de brotes en los tratamientos.

Por otra parte, al llevar a cabo una poda severa de brotes al inicio del experimento, se estimuló la aceleración en los rebrotes y con la humedad existente en el suelo, se aceleró dicho proceso; es por todo esto que se presentó dicho comportamiento desde el inicio hasta la quinta semana.

Es prudente mencionar que desde el inicio del experimento se observó un exceso de humedad residual en el suelo debido al temporal y a la relación de arcilla, por esto la pérdida de humedad es lenta y si a esto añadimos un riego a capacidad de campo obtendremos una saturación total en las partículas coloidales del suelo, al eliminar parte del área foliar en la que se encuentran los estomas, influyó en la transpiración disminuyéndola, lo que acarreó posiblemente una menor pérdida de humedad y por consiguiente una aparición de fungosis e inhibición del rendimiento para los niveles de humedad más altos, siendo el inicio del experimento una etapa crítica.

A pesar de que el testigo no fue irrigado, éste presentó un rendimiento semejante a los niveles de humedad más altos (H2 y H3), dado que se mantenía la humedad residual en él, y conservó su población global de individuos.

Durante las primeras cinco semanas el peso promedio por brote tierno se mantuvo estable, probablemente al efecto residual de la humedad en el medio edáfico.

Como comportamiento general de las primeras cinco semanas, se pudo observar que cuando se tuvo una tensión de una atmósfera en

base a los niveles de humedad, se incrementó la producción dado que el porcentaje de humedad aplicado no era tan elevado, y la tensión baja.

Para la sexta semana (28-Nov.-89), se observa que tanto el testigo, así como el tratamiento de nivel de humedad de 18.52%, presentaron el más alto rendimiento con un promedio en números de brotes tiernos de 5 nopalitos, pero este comportamiento únicamente se dió en la profundidad de 0-20 cm. De igual manera en el testigo se da este comportamiento a la misma profundidad, aquí el porcentaje de humedad permisible en el suelo fluctuó entre 25-20%, de alguna manera en cuanto a peso promedio por brote este mismo tratamiento obtuvo el valor más alto (ver anexo, gráf. 9), el testigo se mantiene estable a los demás tratamientos.

Para la séptima semana (16.Dic.90), la producción más alta la obtuvimos en el nivel de humedad de 18.52% a la profundidad de 20-40 cm., seguido por el testigo, ambos manteniendo un porcentaje de humedad permisible que fluctuó entre 17.5% y 18.3%. Sin embargo el peso promedio en gr. por brote más alto lo obtuvimos del mismo tratamiento, seguido por el nivel de humedad de 16.42%, y el testigo, así como el mismo nivel de humedad que reportó más alto rendimiento pero a la profundidad de 0-20 cm. fueron los más bajos. (Ver anexo, gráf. 10).

Octava semana (13.Dic.89).- El testigo se impuso al rendimiento obtenido a diferencia de los demás tratamientos, seguido por el tratamiento con un nivel de humedad de 16.42%, a una profundidad de 0-20 cm., en ambos casos la humedad permisible en el suelo fué de las más bajas con valores de 14-18.5%; el peso promedio más alto fué para el tratamiento H3 P2, seguido por el testigo, creemos que debido a que se tenía muy poco de haber regado por ello en dichos casos se saturaron los tejidos de almacenamiento de agua. (Ver anexo, gráf. 11)

Novena semana (19.Dic.89), el testigo reflejó una mayor

producción, seguido por el nivel de humedad de 18.52% a la profundidad de 20-40 cm., siendo que el porcentaje de humedad permisible fue el más alto en el testigo, en esta última gráfica se observó que el peso promedio por brote en todos los tratamientos fueron semejantes. (Ver anexo, gráf. 12)

El comportamiento en las últimas 4 gráficas es diferente al aplicar los riego de manera frecuente (Cuadro XV), como se puede observar existió una disminución en la producción de brotes tiernos, el testigo mantuvo una humedad entre 17.5% y 25%, mientras que en los tratamientos los niveles de humedad permisible variaron entre 14.5% y 26%, pero hay que considerar que posiblemente se observó un incremento en el peso promedio en gr. por brote dado que en algunos casos se regaba unos dos días antes de realizar la cosecha. Es importante mencionar que la tensión alta en el testigo hizo que el proceso de la fotosíntesis se incrementara, aunado a esto las temperaturas máximas diarias (Gráf. 1) produjeran una mayor cantidad de fotosintatos, y por ende un mayor número de brotes.

Consideramos que al existir un incremento en la humedad del suelo se da una absorción de agua por la misma planta, lo que hace que esta tienda a acumularse en los tejidos parenquimatosos, dirigiendo parte de ésta hacia los brotes tiernos, y por ello se da un incremento en el peso de los mismos, como se observa en la gráfica 10 del anexo, el cual tuvo los más altos valores en peso promedio, se regó el día 16 de noviembre y se cosechó el 21 del mismo, así sucesivamente se presenta este fenómeno en las demás gráficas (9, 10, 11 y 12 del anexo), pero se inhibió el rendimiento por unidad de superficie.

#### Relación Bloques de Yeso-Método Gravimétrico.

Para este caso como ya se había mencionado se realizó una correlación con datos semanales, y se determinó la probabilidad estadística con un nivel de significancia al 5% y al 1%, y se determinó la relación de acuerdo a las reglas de decisión

estadística para tal caso.

Para ello se correlacionaron valores en Ohms contra el porcentaje obtenido de la conversión, ayudados aquí por la curva de humedad, y en este punto se presentó el mayor índice de valores con cierta aceptación, ya que si consideramos el número total de lecturas, ésta superó las 78, por lo que la confiabilidad con que se aceptaron los datos fué del 19%. Esto se explica debido a que el aparato o Puente de Boyoucoux tiene una alta sensibilidad. La falta de precisión en la toma de lecturas aunado a esto era tomada por diferentes personas, el mismo aparato continuamente tenía que estar siendo calibrado, dado que el movimiento y la exposición al sol alteraban las lecturas registradas.

Pero en sí, la mayoría de los valores aceptados son en su totalidad buenos, dado que la relación en ambos casos es directa.

En los bloques de yeso, en relación al método gravimétrico, se presentó una relación poco confiable, debido a que los mencionados bloques no están perfectamente en contacto con las partículas coloidales del material absorbente. Asimismo, la temperatura edáfica como la ambiental producen un efecto directo sobre las lecturas registradas; por otra parte siendo un suelo arcilloso, la infiltración es lenta, por lo tanto se da una saturación lo que hace que se de una variación en las lecturas. Si consideramos que el suelo tiene cierta conformación física, muy difícilmente se igualará el porcentaje registrado tanto en uno como en otro caso, es por ello que el número de valores relacionados es muy bajo, únicamente se dan 3 datos que son aceptables (Cuadro XV).

El mismo método gravimétrico presenta deficiencias en cuanto a la determinación del contenido de humedad, ya que al efectuar el muestreo de suelo se hacen perforaciones que regularmente son muy seguidas, y esto se hace cerca del bloque de yeso, lo que

modifica las lecturas registradas por los bloques y el mismo medio físico del suelo. Aún en la actualidad en el método gravimétrico no se ha determinado con exactitud el número de muestras por profundidad para obtener una mayor confiabilidad, y si aunamos a esto la pérdida de humedad que se tiene en el momento de la extracción, traslado y pesado, diremos que es muy difícil que dé la cantidad de humedad presente en un medio edáfico, pero no con ello queremos decir que no sirva, ya que éste es de los más aceptados en trabajos de esta índole, dado que se acerca al valor real a diferencia de otros métodos.

Para finalizar diremos que el Método de Determinación de Humedad del Suelo, utilizando los bloques de yeso, no es confiable por todo lo anteriormente mencionado, y sugerimos se haga uso del método gravimétrico, u otro método que no modifique la estructura del suelo insitu, como el dispersor de neutrones.

### 3.3.7 Conclusiones.

#### Relación Tensión del Suelo-Rendimiento.

1.- En rangos bajos de tensión, ninguno de los métodos analizados de determinación de humedad son confiables, dada la saturación del suelo, por lo que existe una variación de las lecturas en los bloques de yeso.

2.- Se recomienda manejar tensiones de humedad más altas, pero nunca cercanas al Punto de Marchitez Permanente (P.M.P.), dadas las características edáficas del suelo del rancho, para así obtener una relación en los métodos utilizados.

3.- A mayor frecuencia de intervalos de riego en nopal de verdura (cada 15 días), con una lámina de riego de 23.76 l. la producción disminuye, sin embargo el peso fresco promedio por brote se mantiene casi constante.

4.- A menor frecuencia de intervalos de riego (2 meses), utilizando tensiones de humedad altas, el peso fresco promedio

por brote (grs.) será menor, pero el rendimiento por unidad de superficie será mayor.

5.- El rango de humedad permisible al que el cultivo del nopal de verdura da mayores resultados es de 15 a 20%. Siendo aquí donde la tensión tiende a hacerse mucho mayor y fuerza a la planta a incrementar el rendimiento.

6.- Dado que el nopal es una planta CAM sus requerimientos hídricos son mínimos, responde favorablemente a altas tensiones, sin embargo es probable que al ser manejado comercialmente como una hortaliza tiende a cambiar su ruta fotosintética, pero la humedad que requiere viene siendo lo mismo.

7.- La distancia de plantación es un factor para la producción en un sistema intensivo, debiendo ser ésta de 25-30 cm., entre planta e hileras para evitar pérdidas por pudrición.

8.- El número de repeticiones en trabajos donde se evalúen niveles de humedad debe de ser el adecuado para evitar tener alto grado de error experimental y consecutivamente una baja precisión experimental.

## IV. BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR B. G. (1980). "Efecto de varios reguladores de Crecimiento en Nopal Tunero (*Opuntia amyclae*). Tesis., Depto. de Fitotécnia., U.A.CH., Chap., México
- ALVARADO Y SOSA. L. (1978). "Fisiología y Bioquímica del Desarrollo del Fruto de Nopal Tunero (*Opuntia amyclae*). Tesis., Depto. de Infraestructura Agrícola., E.N.A., Chap., México.
- ALVAREZ RODRIGUEZ. A.L. Y CRUZ ALONSO. M.R. (1978). Tesis "Actualización de las Características Físicas y Químicas de Suelos de la F.E.S.-C.-U.N.A.M., con fines de Fertilidad".
- ARIAS C. S. Y MORA N. E. (1989). "Control Químico de la Maleza en Nopal de Verdura (*Opuntia ficus-indica*), en Naucalpan, Edo. de Méx.". Tesis., F.E.S.-Cuautitlán-U.N.A.M.
- ARIAS M. C. Y M.A. MARTINEZ C. (1988). Jardín de Introducción de Procedencia del Nopal., Ja. Reunión Nacional., Ia. Internacional., Programa y Resúmenes., U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coah.
- BARRIENTOS P. F. (1981). El Nopal, su Mejoramiento y Utilización en México., Folleto Técnico No. 270., Gob. del Edo. de México-SARH.
- BARRIENTOS P. F. - El Mejoramiento del Nopal en México., Colegio de Post-Graduados., Chap., México.
- BORREGO E. F. Y BURGOS V. N. (1988). El Nopal., U.A.A.A.N., Saltillo, Coah.
- BROM R. F. (1972). El Nopal., CONAFRUT - SAG., México.
- BRAVO H. H. (1978). Las Cactáceas de México., Jardín Botánico., Instituto de Biología., U.N.A.M., México.
- BAZAN C. A.C. (1968). "Determinación Cualitativa de Minerales en las Variedades de *Opuntia de Arútila* del Rosario., Buenavista, y Zaragoza". Tesis., Saltillo, Coah., U.A.A.A.N.
- BAUTISTA S. R. (1970). "Los Agroecosistemas Nopaleros del Valle de México". Tesis., Depto. Zonas Áridas., U.A.CH., México.
- CABALLERO C. H.M. (1970). "Evaluación de Diferentes Métodos para determinar la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente". Tesis., U. de Coah., Escuela Superior de Agricultura, Antonio Marro.

- CIENFUEGOS I, F. (1984). Bloques Completamente al Azar., Apuntes del Curso de Experimentación Agrícola., Sección Ingeniería Agrícola., F.E.S.-Cuautitlán U.N.A.M., Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.
- COCODER (1987). Apuntes Recopilados del Nopal., Depto. del Distrito Federal., México.
- CODAGEM (1979). Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal., Folleto Técnico No. 158., Gov. del Estado de México, SARH.
- COLONGA G, M.S.P. (1984). "Variación Morfológica, Manejo Agrícola y Grado de Domesticación de Opuntia spp en el Bajío Guanajuatense". Tesis M.C., Esp. Botánica., Colegio de Postgraduados., Chap., México.
- CRUZ H, P. (1981). Guía para Cultivar Nopal Tunero en el Estado de Puebla., INIA-SARH., Puebla, México.
- CHAGOLLA N, J.G. Y J.L. MENDOZA A. (1988). Enraizamiento in vitro del Nopal (Opuntia spp.), Centro de Fruticultura., Colegio de Postgraduados, Chapingo, México., 3a. Reunión Nacional., 1a. Reunión Internacional., Programa y Resúmenes., "El Nopal", U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- CHAVEZ G, MA. D. (1953). "Posibilidades de Utilización de Xerofitas Mexicanas". Estudio Preliminar de Constituyentes de Opuntia mesacantha P. Tesis., Fac. Química Berzilius-U.N.A.M.
- DE LA TEJA O, A. (1982). Estudio de las Características Edáficas de los Suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán., Depto. de Ciencias Agrícolas-U.N.A.M.
- DEL VALLE, F.M. (1967). "Nuevos Aparatos Medidores y Nuevos Bloques de Resistencia e Impedencia para Medir la Humedad del Suelo". Tesis en M.C., Colegio de Postgraduados., Chapingo, México.
- DEL VALLE, F.M. (1968). Bloques de Yeso para detectar Variaciones de Humedad en el Suelo., Memorandum Técnico No. 257., SARH., México.
- DAVILA DE L, F.J. (1967). "Comparación entre Nopal y Alfalfa Achicalada en la Alimentación de Vacas Lecheras". Tesis., Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro., Buenavista., Saltillo, Coah., México.

- DELGADO A., E. PIMIENTA B. Y R. MAURICIO L. (1988). Evaluación de la Variación de Componentes del Fruto y la Composición Química de la Pulpa y Semilla de formas de Nopal Tunero (*Opuntia spp.*), CREZAS-C.P., INIFAP., Centro de Botánica., Colegio de Postgraduados., Chapingo, México., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal", U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- DONAHUE-MILLER-SCHIKLUNA (1981). Introducción a los Suelos y al Crecimiento de las Plantas., Prentice/Hall International., Bogotá, Colombia.
- FERNANDEZ L. Y OLLIVER, MA. C. (1949). "Estudio Químico del Nopal"., Tesis., E.N.C.Q., U.N.A.M., México.
- GARCIA E., R. (1967). "Estudio sobre posibles Enfermedades Virósicas en el Nopal"., Tesis., U.N.A.M., México.
- GARCIA V., A. Y GRAJEDA G., J.E. (1980). Cultivo Nopal para Verdura., Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- GARCIA A., F.C. (1988). Experiencias en el Cultivo del Nopal Tunero *Opuntia amygdala Tenore.*, en Zonas Áridas y Semiaridas de varios Estados de la República Mexicana, CONALA., Axapusco., Edo. de Mex.
- HOLGUIN M., E. (1985). Agricultura de Riego en Zonas Áridas., U.N.A.M., F.E.S.-Cuautlilán., Secc. Ing. Agrícola. Apuntes del Curso de Zonas Áridas., Edo. de Mex.
- HIGAREDA R., A., A. HERNANDEZ R., M. ROSALES D. Y M. DARBOUZE T. (1988). Aislamiento, Purificación y Caracterización Físico-Química de la Pectina del Nopal (*Opuntia ficus-indica*). U.A.M., Iztapalapa. México., 3a. Reunión Nacional., 1a. Reunión Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal", U.A.A.A.N., Buenavista., Saltillo, Coah., México.
- INIA SARH (1982). Ciclo de Cultivos.  
(1977). Género *Opuntia.*, Tecnología Lanfil., Rev. Julio-Septiembre., Vol. III., No. 2., XXV Aniversario de la Sociedad de Cactología.
- LANDAVERDE CH., R. (1975). "La Explotación Técnica del Nopal". Tesis., J.T.Q.R., Querétaro, México.

- LOPEZ M., L.C. Y MEJIA L., F. (1988). "Respuesta a la Brotación del Nopal de Verdura (*Opuntia ficus-indica*), bajo Sistema de Explotación Intensiva de Microtúnel, en Cuautitlán Izcalli". Tesis., F.E.S.-Cuautitlán., U.N.A.M., México.
- LOPEZ G., J.J. Y J.L. ELIZONDO E. (1988). El Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal en México., Depto. de Recursos Naturales Renovables., Depto. Botánico., U.A.A.A.N., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal"., Buenavista., Saltillo, Coah., México.
- MARTINEZ M., R.M. (1971). "Calibración y Comparación de algunos Métodos para la Determinación de la Humedad del Suelo". Tesis para obtener la M.C., Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- MARTINEZ M.L. Y L.J. MALDONADO. Importancia de las Zonas Áridas en el Desarrollo General del País., Productora General de Semillas., S.A.G., México.
- MEDINA T., J.G., M.E. ACUÑA M., J.J. LOPEZ G. Y O.E. CAVAZOS C. (1988). Variables Críticas Ambientales para el Establecimiento del Nopal Forrajero en el Árido Norte de México., Depto. de Recursos Naturales Renovables., U.A.A.A.N., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal"., Buenavista., Saltillo, Coah., México.
- MEYRAN J. Las Cactáceas de Tamaulipas., Cact., Suc., México.
- MORALES B., L. (1988). Uso y Experiencia de la Utilización del Nopal (*Opuntia Sp.* y *Opuntia ficus-indica*), dentro del Campo de la Medicina., Gob. del Edo. de Saltillo., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal"., Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- NOBEL, P.S. (1988). Orientation, Productivity and EPl FOR *Opuntia ficus-indica*., Dept. of Biology and Laboratory of Biomedic and Environmental Sciences, University of California., Los Angeles, California., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal"., Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- NUÑEZ E.R. (1981). Importancia y Ventajas de Abonos Orgánicos., Copilada por Monroy H.O., y V. Niegra, V.G., Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios

orgánicos., A.G.T. Ed., S.A., México.

-- PALACIOS V., E. (1981). Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego., Centro de Hidrociencias., Colegio de Postgraduados., Chapingo, México.

-- PALACIOS V., E. (1982). Método para estimar la Tensión del Suelo en Función de su Contenido de Humedad., Centro de Hidrociencias., Recopilación de Artículos Publicados en diferentes Revistas Técnicas., Colegio de Postgraduados., Chapingo, México.

-- PALAU P., M.T., C.C. PINEDA V. Y J.A. AREVALO (1988). Análisis de la Composición Florística de la Comunidad Arvense en el Cultivo de Opuntia ficus-indica. En Villa Milpa Alta, D.F., U.A.M., Unidad Xochimilco., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal". Buenavista, Saltillo, Coah., México.

-- PIMIENTA B.E., E.M. ENGLEMAN Y J. ROBLES E. (1988). Desarrollo de la Pulpa y el Fruto del Nopal (Opuntia spp.) Tunero., Programa de Fruticultura - Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de S.L.P., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal". Buenavista, Saltillo, Coah., México.

-- PIMIENTA B.E., E.M. ENGLEMAN Y J. ROBLES E. (1988). Diferenciación Floral, Polinización y Fecundación de Flores de Nopal (Opuntia spp.) Tunero., Programa de Fruticultura - Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de S.L.P., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal". Buenavista, Saltillo, Coah., México.

-- PIÑA, L.J. (1977). La Grana ó Cochinilla del Nopal., LANFI., Monografía No. 1. México.

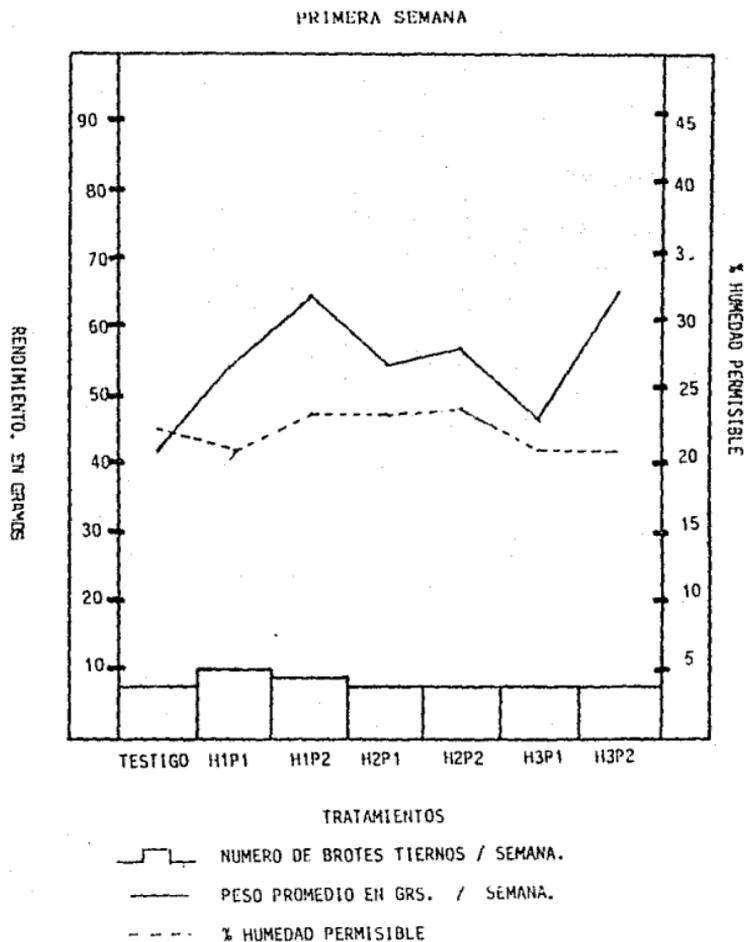
-- PIÑA, E.C. (1986). Generalidades sobre el Género Opuntia y Aplicación de la Ruta Crítica para la Producción de Verdura de Opuntia ficus-indica (L) Millot., Cactáceae. Ensayo Bibliográfico del Seminario de Administración y Control de la Producción para obtener el Título de Biólogo., I.P.N., Escuela Nacional de Ciencias Biológicas., México.

-- PROMAN (1987). Anteproyecto para la Plantación del Nopal para Verdura con fines de Explotación Intensiva en el Rancho

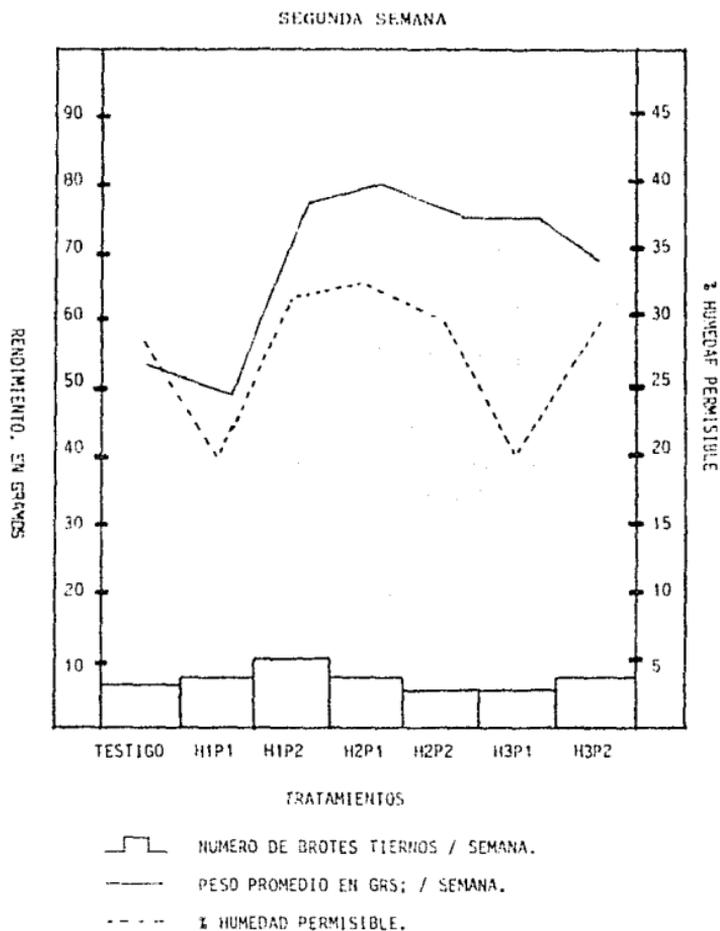
- "Las Galindas"., Depto. de Asistencia Técnica., SARH., Morelia, Mich., México.
- PUENTE M., R. Y R.E.M. HERNANDEZ V. (1988). El Género Opuntia en el Valle de San Luis Potosí, México., Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas., Universidad Autónoma de S.L.P., México.
- RAMIREZ A. (1972). Consideraciones Generales en la Implantación de Experimentos sobre la Respuesta de los Cultivos a los Niveles de Humedad en el Suelo., Colegio de Postgraduados., Centro de Hidrociencias., Chapingo, México.
- REYES C.P. (1981). Diseño, Experimentos Aplicados., Ed. Trillas., México.
- RENDON P., L. (1974). "Uso de los Medidores de la Humedad del Suelo en la Investigación Agrometeorológica"., Tesis., E.N.A., Chapingo, México.
- REYNA T., T. (1978). Características Climato-Frutícolas del Valle de Cucutitlán., Edo. de Méx., U.N.A.M.
- RODRIGUEZ G., A. J.J. LOPEZ G., J.C. ELIZONDO Y REYNAGA V. (1988). Amplitud Ecológica de Opuntia lindheimeri Englemann. en el Estado de Coahuila., Depto. Botánica., U.A.A.A.N., 3a Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., "El Nopal"., Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- (1969). Cómo Plantar Nopales., Secretaría de Agricultura y Ganadería., Chapingo, Méx.
- (1968). Bloques de Yeso para Determinar la Variación de Humedad en el Suelo., SARH.
- SANCHEZ C., S. (1979). Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal., CODAGEM-SARH., Gob. del Edo. de México.
- SALGADO M., C. (1984). El Cultivo del Nopal, una Alternativa Económica en los Suelos Áridos y Semiáridos., CODAGEM., Gob. del Edo. de México.
- SCHEINVER, L. (1988). Los Nopales Silvestres del Estado de Queretaro en sus Tipos de Vegetación., Jardín Botánico., Instituto de Biología., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., Buenavista, Saltillo, Coahuila.

- SOSA M., H.A. (1984). Revisión de algunos Métodos para la Determinación de la Humedad del Suelo., Seminario de Primavera., Colegio de Postgraduados., Chapingo, México.
- STEWART, C.D. Y M.C. JOHNSTON (1970). Manual de Plantas Vasculares en Texas., Texas Research., Fundation., U.S.A.
- TAPIA T., R. (1986). Fertilización del Nopal para Plantaciones Recientes., Depto. de Investigaciones Biológicas., SARH/PROMAN., Morelia, Michoacán.
- TITOS S., M. (1988). El Cultivo de la Grana-Cochinilla (*Dactylopius coccus*). del Nopal (*Opuntia spp.*), en Oaxaca, I.T.A.O., No. 23., Secretaria de Desarrollo Rural., Gob. del Edo. de Oax., 3a. Reunión Nacional., 1a. Reunión Internacional., Programas y Resúmenes., Buenavista, Saltillo, Coah.
- VAZQUEZ A.A. Y MEDINA C.J. (1981). El Nopal., CONAZA-INIF., Pub. Especial No. 34, México.
- VILLEGAS DE G., M.E. Y ORDORICA V., M.C.I. FONSECA N. (1988). Usos del Nopal en la Ciudad de México y algunas Áreas cercanas., Escuela de Ciencias Biológicas., 3a. Reunión Nacional., 1a. Internacional., Programas y Resúmenes., Buenavista., Saltillo, Coah.

## V. ANEXOS

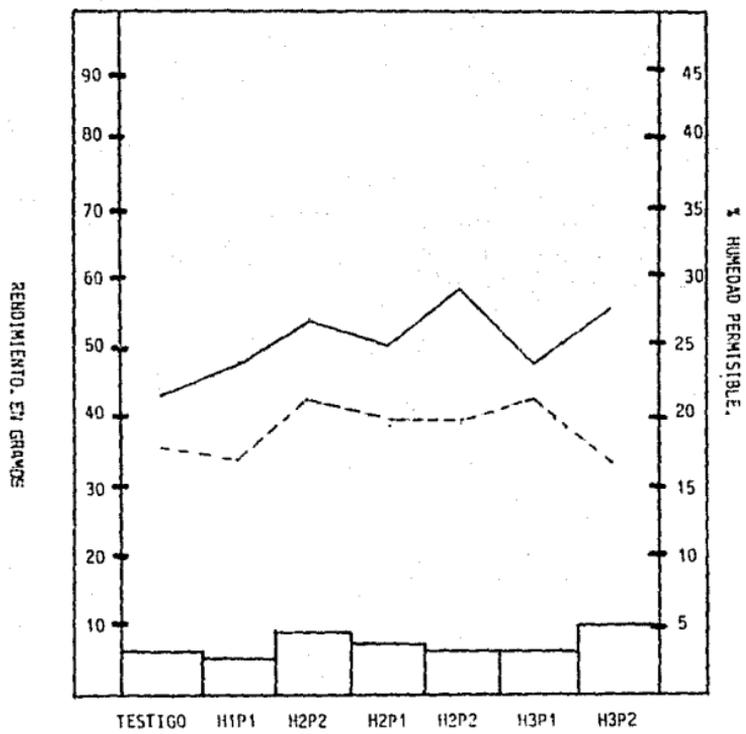


GRAF. 4 RELACION TENSION DEL SUELO - RENDIMIENTO EN EL NOPAL  
DE VERDURA, ( OPUNTIA S.P.P. )



GRAF. 5 RELACION TENSION DEL SUELO - RENDIMIENTO EN NOPAL DE VERDURA, ( QUINUA S.A.P.D. )

CUARTA SEMANA

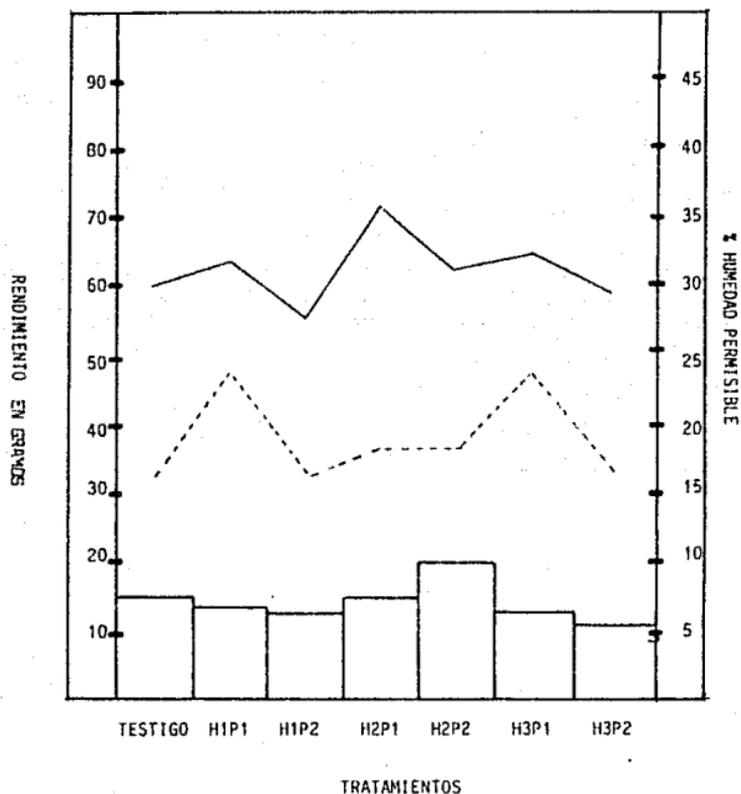


TRATAMIENTOS.

-  NUMERO DE BROTES / SEMANA.
-  PESO PROMEDIO EN GRAMOS / SEMANA.
-  % HUMEDAD PERMISIBLE.

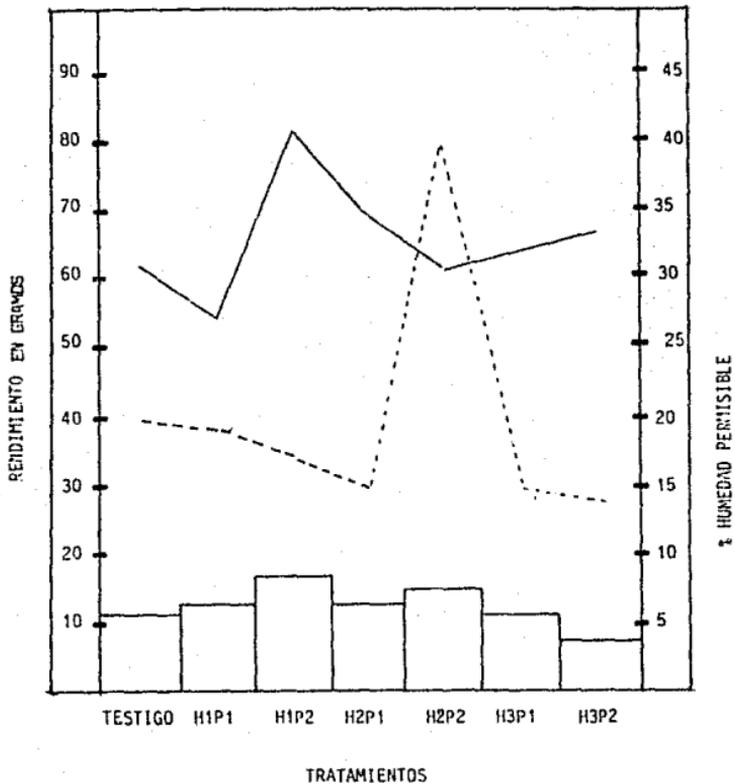
GRAF. 6 RELACION TENSION DEL SUELO- RENDIMIENTO EN EL NOPAL DE VERDURA.

## TERCERA SEMANA



GRAF. 7 RELACION TENSION DEL SUELO- RENDIMIENTO EN NOPAL DE VERDURA, ( OPUNTIA S.P.P. )

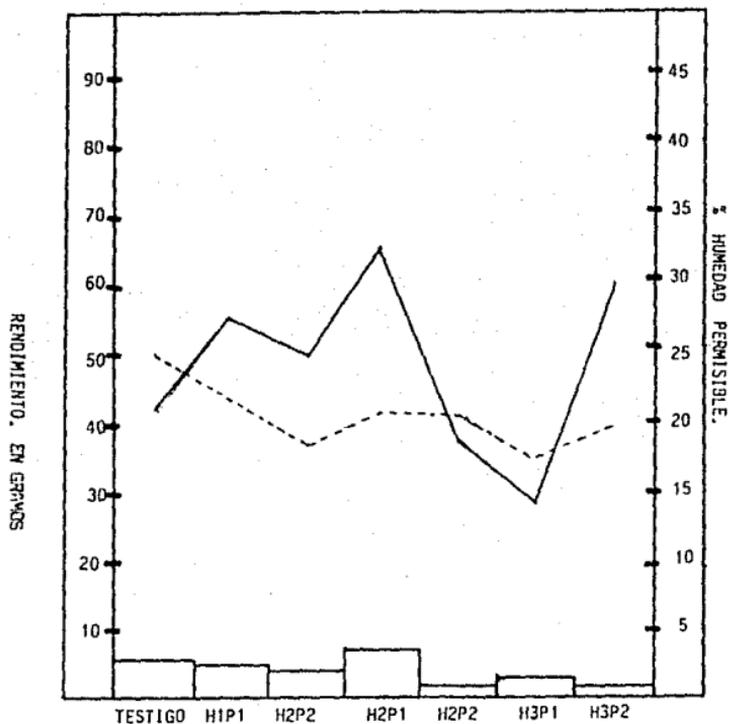
### QUINTA SEMANA



-  NUMERO DE BROTES TIERNOS / SEMANA.
-  PESO PROMEDIO EN GRS. / SEMANA.
-  % HUMEDAD PERMISIBLE.

GRAF. 8 RELACION TENSION DEL SUELO - RENDIMIENTO EN EL NORAL DE VERDURA.

SEXTA SEMANA

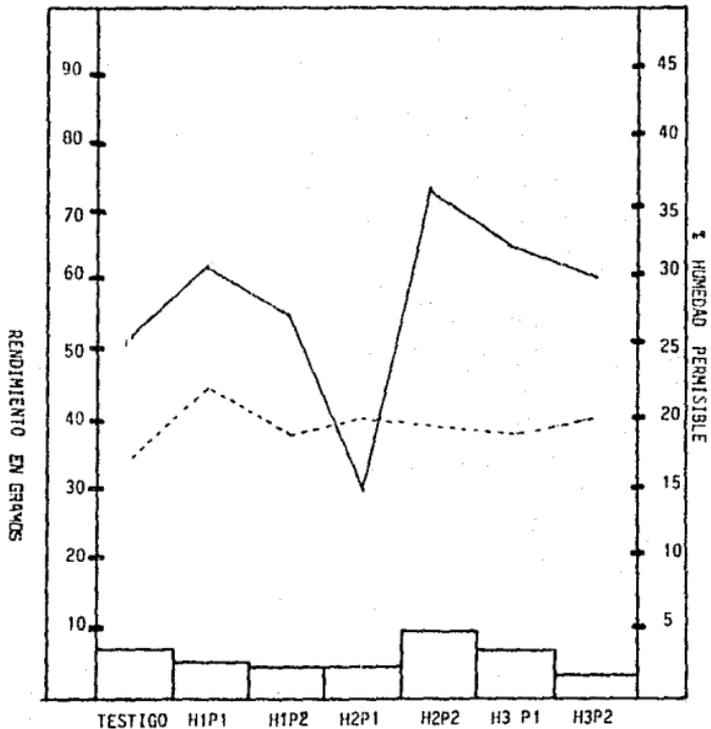


\* TRATAMIENTOS.

-  NUMERO DE BROTES TIERNOS/SEMANA.
-  PESO PROMEDIO EN GRS./SEMANA.
-  % HUMEDAD PERMISIBLE.

GRAF. 9 RELACION TENSION DEL SUELO - RENDIMIENTO EN NOPAL DE VERDURA, ( OPUNTIA S.P.P. )

## SEPTIMA SEMANA

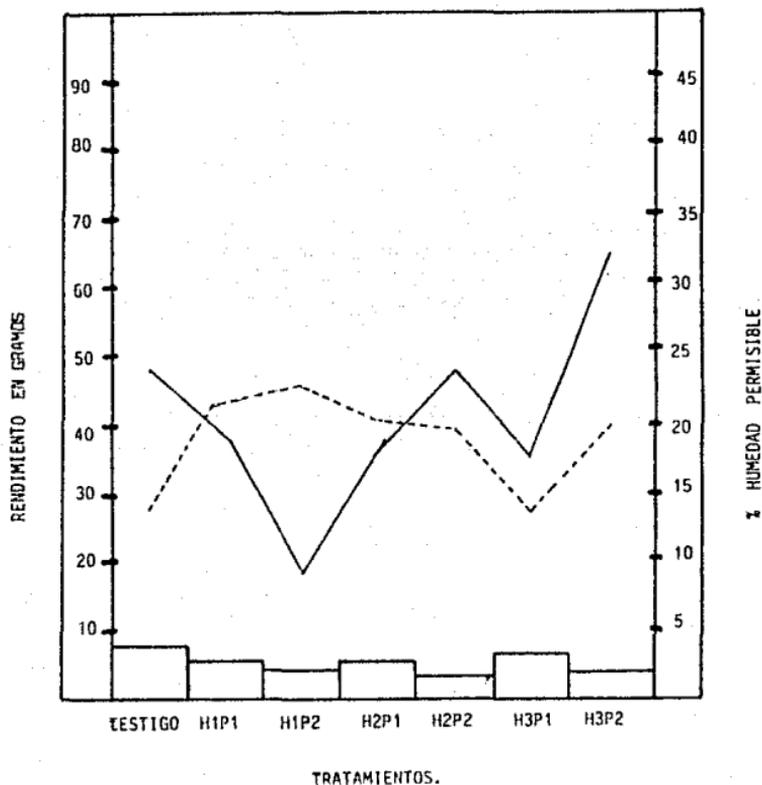


## TRATAMIENTOS.

-  NUMERO DE BROTES TIERNOS / SEMANA.
-  PESO PRUMEDIO EN GRG; / SEMANA.
-  % HUMEDAD PERMICIBLE.

GRAF. 10 RELACION TENSION DEL SUELO - RENDIMIENTO EN NOPAL DE VERDURA.

## OCTAVA SEMANA



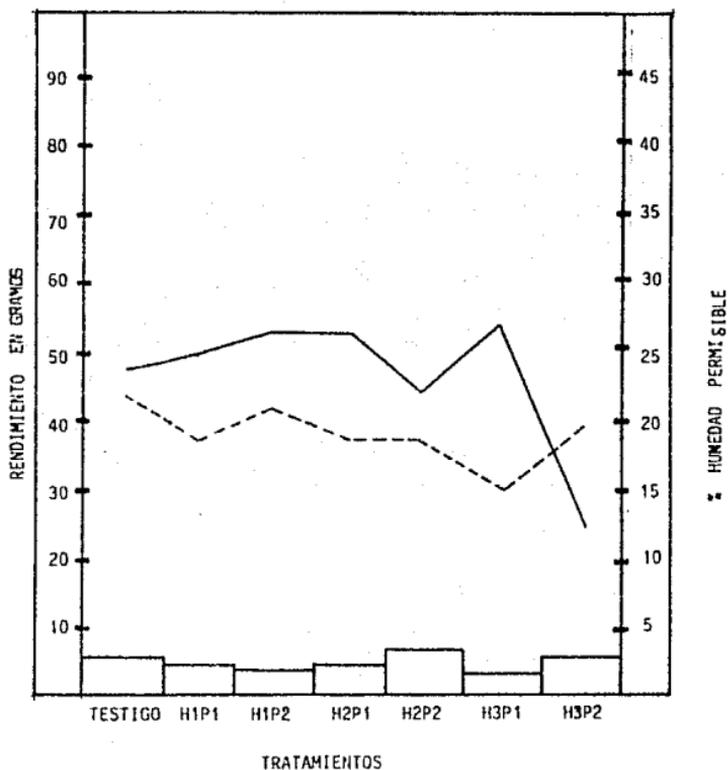
— NUMERO DE BROTES TIERNOS / SEMANA.

— PESO PROMEDIO EN GRS. / SEMANA.

- - - % HUMEDAD PERMISIBLE.

GRAF. 11 RELACION TENSION DEL SUELO- RENDIMIENTO EN NOPAL - DE VERDURA

## NOVENA SEMANA



- NUMERO DE BROTES TIERNOS / SEMANA.  
 PESO PROMEDIO EN GRS. / SEMANA.  
 % HUMEDAD PERMISIBLE

GRAF. 12 RELACION TENSION DEL SUELO - RENDIMIENTO EN NOPAL DE VERDURA ( OPUNTIA SSP )

PRUEBA: SCHEFFE

Número de Tratamientos: 7

Nivel de Significancia: 0.05

MEDIAS A COMPARAR		VALORES DE LAS MEDIAS A COMPARAR		DIFERENCIA DE MEDIAS	CHEFFE CALCULADO	SIGNIFI- CANCIA.
1	5	=	48.6 - 18.3	= 30.2	< 64	NS
1	3	=	48.6 - 35.9	= 12.6	< 64	NS
1	2	=	48.6 - 38.0	= 10.6	< 64	NS
1	4	=	48.6 - 39.0	= 9.63	< 64	NS
1	7	=	48.6 - 42.4	= 6.14	< 64	NS
1	6	=	48.6 - 48.5	= .130	< 64	NS
6	5	=	48.5 - 18.3	= 30.1	< 64	NS
6	3	=	48.5 - 35.9	= 12.5	< 64	NS
6	2	=	48.5 - 38.0	= 10.5	< 64	NS
6	4	=	48.5 - 39.0	= 9.50	< 64	NS
6	7	=	48.5 - 42.4	= 6.01	< 64	NS
7	5	=	42.4 - 18.3	= 24.1	< 64	NS
7	3	=	42.4 - 35.9	= 6.51	< 64	NS
7	2	=	42.4 - 38.0	= 4.44	< 64	NS
7	4	=	42.4 - 39.0	= 3.49	< 64	NS
4	5	=	39.0 - 18.3	= 20.6	< 64	NS
4	3	=	39.0 - 35.9	= 3.02	< 64	NS
4	2	=	39.0 - 38.0	= .950	< 64	NS
2	5	=	35.0 - 18.3	= 19.7	< 64	NS
2	3	=	38.0 - 35.9	= 2.07	< 64	NS
3	5	=	35.9 - 18.3	= 17.6	< 64	NS

CUADRO XVII: Comparación Múltiple de Medias.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Ft
TRAT.	6	101E * 04	168	878 NS	2.34
ERROR	7	134E * 04	191		
TOTAL	13	234E * 04			

CUADRO XVIII: Diseño Completamente al Azar.

Número de Tratamientos: 7

Número de Repeticiones: 2

Número de Observaciones por Unidad Experimental: 1

Transformación: Ninguna.

Nivel de Significancia: 0.05

Modelo: Y =

o17 dat