

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

DETERMINACION DE UN PROGRAMA DE RIEGO EN LA PRODUCCION HIDRO
PONICA DE REMOLACHA (Beta vulgaris), UTILIZANDO COMO SUSTRAS-
TOS ESCORIA VOLCANICA Y GRANZA DE ARROZ

POR :

SALVADOR GUILLERMO CLAROS RAUDALES

JUAN RENE GUZMAN ARBAIZA

HENRY BALMORE LOZANO ABARCA

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE :
INGENIERO AGRONOMO

SAN SALVADOR, OCTUBRE DE 1992



001074
Ej 1.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL : LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO : ING. AGR. GALINDO ELEAZAR JIMENEZ MORAN

SECRETARIO : ING. AGR. MORENA ARGELIA RODRIGUEZ DE SOTO

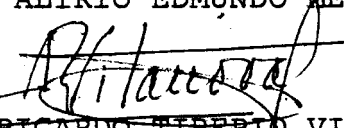
d) por la secretaria de la Fae. de cc. A.A. Enero-1993.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA


ING. AGR. SABAS ALBERTO ARGUETA

ASESORES :

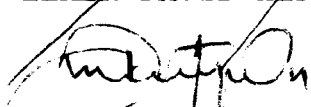

ING. AGR. ALIRIO EDMUNDO MENDOZA

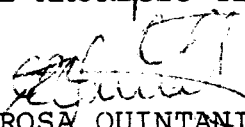

ING. AGR. JOSE RICARDO TIBERIO VILANOVA ARCE

ING. AGR. PIERRE SOMIRAZA

JURADO EXAMINADOR :


ING. AGR. ELMER DAVID HERNANDEZ, M.Sc.


ING. AGR. JOSE MAURICIO TEJADA ASENCIO


ING. AGR. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

ING. AGR. CHEPE TOSTADO

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó utilizando la técnica de cultivos hidropónicos. Este sistema de producción genera hortalizas de buena calidad y libre de contaminantes, además hace uso eficiente de los recursos utilizados, se emplea mano de obra familiar, mejorando así la dieta alimenticia y fortalece la economía familiar. Este trabajo pretende contribuir con nuevos elementos que permitan una mayor eficiencia en la producción de cultivos hidropónicos en el país, dichos elementos constituyen el uso adecuado del agua a través de la elaboración de un programa de riego y la evaluación de sustratos que permitan un mejor desarrollo de los cultivos.

La investigación se realizó durante los meses de noviembre y diciembre de 1991 y enero de 1992. Los módulos experimentales fueron ubicados en la terraza del edificio de los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, cuyas coordenadas geográficas son 13°44' latitud norte y 89°13' longitud oeste.) Se evaluaron tres sustratos: Escoria volcánica, granza de arroz y una mezcla de ambos (escoria-granza); y cuatro láminas de riego con intervalos de aplicación fijos; para lo cual se empleó como diseño estadístico parcelas divididas completamente al azar, utilizando 12 tratamientos y cuatro repeticiones por

sustrato, para un total de 48 parcelas experimentales, ubicados los diferentes tratamientos en forma aleatoria.

Las variables evaluadas fueron: Porcentaje de germinación, altura de planta, número de hojas por planta, peso de raíces carnosas, diámetro de raíces carnosas, peso seco de la raíz absorbente, clasificación por el número y peso según el diámetro de la raíz carnosa, grados brix y número de plantas por metro cuadrado. Bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento, los resultados obtenidos fueron: que las características físicas de los sustratos no influyeron en la germinación de la semilla; para los primeros 13 días de crecimiento bastaría aplicar 2.18 lt/día/m² para escoria, 1.98 lt/día/m² en granza y 2.08 lt/día /m² para mezcla. Para las siguientes fases de desarrollo respondió mejor la escoria volcánica (S₁) y lámina d₂ (1.5 d₁) así : Desarrollo 7.11 lt/día/m², mediano 7.91 lt/día/m² y finalización 7.53 lt/día/m²; se obtuvo mejores diámetros y pesos de la raíz carnosa utilizando escoria volcánica (S₁) y lámina d₂. El peso seco de la raíz absorbente resultó ser mayor en escoria volcánica; los valores más altos de grados brix corresponden a aquellos tratamientos donde el volumen de agua es menor (d₃); el número de plantas por metro cuadrado resultó ser no significativo.

En base a los resultados se concluye que la escoria volcánica, es un excelente sustrato para el cultivo de remolacha en los sistemas hidropónicos; que la cantidad de agua a -

utilizar es de 2,18 lt/día/m² hasta los 13 días, 7,11 lt/día /m² hasta los 34 días, 7,91 lt/día/m² hasta los 51 días y - 7,53 lt/día/m² hasta los 64 días.

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS TODOPODEROSO:
Por habernos iluminado en los momentos más difíciles y -
permitir forjar nuestra formación profesional.

- A NUESTROS PADRES : Por sus esfuerzos y sacrificios pa-
ra que pudieramos alcanzar nuestras metas, por el amor y
apoyo que tuvimos en todo momento.

- A NUESTROS ASESORES : Por habernos brindado todo su cono-
cimiento y apoyo para el desarrollo de este trabajo.

- A NUESTROS JURADOS : Por habernos evaluado en forma sa-
tisfactoria y permitir su aprobación.

- AL PERSONAL DOCENTE, ADMINISTRATIVO Y TRABAJADORES DE LA
FACULTAD Y LA ESTACION EXPERIMENTAL : Por contribuir a
nuestra formación.

- A PRODERE : En especial a la Lic. Marina Lo Giudice, -
por su valiosa contribución y aporte para el desarrollo
del presente trabajo.

- A LA UNIDAD DE QUIMICA : Por habernos permitido realizar
parte de nuestro estudio.

- A la Sra. Marina del Carmen Rodríguez, por su encomiable
labor en la elaboración de este documento.

DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO :
Por iluminar mis pensamientos, guiar mi vida para alcanzar las metas fijadas y haberme dado la fe necesaria para terminar mi carrera.

- A MIS PADRES :
Miguel Angel Claros
María del Rosario Raudales de Claros
Por su abnegada labor, por todo el sacrificio realizado y sus prodigiosos consejos que han permitido la obtención de mi triunfo profesional.

- A MI ABUELA :
Por su cariño y sacrificio que siempre me ha brindado.

- A MI ESPOSA Y MI HIJA :
María Teresa y Tanya Aileen
Por todo su amor, paciencia, comprensión y fe puesta en mí para lograr mi meta.

- A MIS HERMANOS : Orlando, Lilian, Antonio, Rhina, Gloria, Doris, Silvia, Ana María y Fernando.
Por todo su apoyo en los momentos difíciles de mi carrera.

- A MIS CUÑADOS Y SOBRINOS :
Por su afecto y colaboración en mi formación.

- A MIS MAESTROS, COMPAÑEROS Y AMIGOS :
Por su apoyo solidario.

Salvador Guillermo Claros Raudales.

DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO :
Por haberme iluminado y dado la sabiduría necesaria para tomar el buen camino y poder culminar mi carrera.

- A LA SANTISIMA VIRGEN MARIA Y A LA CORTE CELESTIAL :
Por haber iluminado y bendecido a mis padres en todo momento durante mis años de estudio.

- A MI MADRE : Gloria Esperanza Arbaiza de Guzmán
Con mucho amor, como muestra de todos sus sacrificios realizados y sabios consejos que me brindó en los momentos más difíciles para lograr mi formación profesional.

- A MI PADRE : Juan Aristides Guzmán Arévalo
Como muestra de respeto y cariño por su apoyo.

- A MIS HERMANOS :
Carlos Aristides y William Eduardo
Por su apoyo y sacrificios; y como muestra de poder alcanzar la meta propuesta.

- A MI ABUELO : Carlos Arturo Córdova (Q.D.D.G.)
Por todo su apoyo y sabios consejos, que influyeron a lo largo de mis años de estudio para alcanzar mi triunfo.

- A MI ABUELA : Blanca Lidia Angel Arbaiza
Con todo amor y cariño que siempre me ha brindado.

- A MI TIA : Madre Lucía
Por todos sus consejos y oraciones; en los momentos más difíciles.

- A MIS PRIMOS :
Vivian Adelfa, Mauricio Andrés e Ingrid Rocío
Con amor.

- A MI NOVIA :
Elda Nery Aparicio Portillo
Por su amor y cariño brindado durante mi formación profesional.

- A TODA MI FAMILIA :
Por sus consejos

- A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS :
Por su amistad y experiencias compartidas durante mis años de estudio

- A MIS MAESTROS :
Por compartir conmigo sus conocimientos.

- A MI PAIS :
El Salvador

Juan René Guzmán Arbaiza

DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO :
Por alcanzar mi meta propuesta.

- A MIS PADRES :
José Lucio Lozano
María Isabel Abarca de Lozano
Con mucho agradecimiento, por su cariño y sus sabios
consejos.

- A MIS HERMANOS :
Wilfredo
Azucena
Oscar
Lucio
Mélida
Por su apoyo moral.

- A MIS SOBRINOS :
Como un ejemplo de superación.

- A MIS DEMAS FAMILIARES :

- A MIS COMPAÑEROS :

Henry Balmore Lozano Abarca

	Página
2.1.5.5. Materiales	18
2.1.5.6. Tipos de recipientes	18
2.1.6. Factores básicos de la hidroponía .	18
2.1.6.1. Temperatura	19
2.1.6.2. Luz	19
2.1.6.3. Aporte de CO ₂ (aire)	20
2.1.6.4. Humedad ambiental	20
2.1.6.5. Contenido de oxígeno en - la zona de las raíces ...	21
2.1.6.6. Agua	21
2.1.6.7. Riego	23
2.1.6.8. Cantidad de agua	23
2.1.6.9. Calidad de agua	24
2.1.6.10. Número de riegos	24
2.1.6.11. Frecuencia de riego	24
2.2. Generalidades del cultivo de remolacha	25
2.2.1. Origen de la remolacha	25
2.2.2. Clasificación de la remolacha	25
2.2.3. Utilización	26
2.2.4. Características botánicas de la re- molacha	26
2.2.4.1. Raíz	26
2.2.4.2. Cuello o corona	28
2.2.4.3. Hojas	28

	Página
2.3.2.4. Coeficiente de marchitamiento	39
2.3.2.5. Humedad utilizable	39
2.3.2.6. Humedad fácilmente utiliz <u>able</u>	39
2.3.2.7. Estructura del sustrato.	40
2.3.2.8. Efecto de la aireación en el sustrato	41
2.3.2.9. Succión de agua por la planta	41
2.3.2.10. Efecto del nivel de humedad del sustrato en el crecimiento y rendimiento del cultivo	42
2.3.3. Evapotranspiración	42
2.3.3.1. La evapotranspiración del cultivo	42
2.3.3.2. Relación entre la evapotranspiración, el clima y la fisiología de la planta	43
2.3.3.3. Determinación de la evapotranspiración del cultivo	44

	Página
2.2.4.4. Flores	28
2.2.4.5. Semillas	29
2.2.4.6. Tipos y variedades	29'
2.2.5. Requerimientos generales de la remo- lacha	30
2.2.5.1. Clima	30
2.2.5.2. Suelos	31
2.2.5.3. Luminosidad	32
2.2.5.4. Agua	33
2.2.5.5. Riegos	33
2.3. Generalidades sobre el riego	35
2.3.1. Relación agua-sustrato	35
2.3.1.1. Peso específico real	35
2.3.1.2. Peso específico aparente.	35
2.3.1.3. Tipos de agua en el sus- trato	36
2.3.1.4. Retención de agua en el - sustrato	37
2.3.1.5. Conductividad hidráulica.	37
2.3.2. Relación agua-sustrato-planta	37
2.3.2.1. Contenido de humedad del sustrato	37
2.3.2.2. Saturación	38
2.3.2.3. Capacidad de campo	38

2.3.3.4.	Aspectos que deben considerarse para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc)	46
2.3.3.5.	Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia : ETf	47
2.3.3.6.	Elección del coeficiente del cultivo : Kc	47
2.3.3.7.	Cálculo de la evapotranspiración del cultivo: ETc	48
2.3.3.8.	Examen de los factores que <u>in</u> ciden en la evapotranspiración del cultivo (ETc) en las condiciones locales predominantes	48
2.3.3.9.	Modificaciones de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) en función de la advección (fenómeno de oasis).	48
3.	MATERIALES Y METODOS	50
3.1.	Localización del estudio	50
3.2.	Condiciones climáticas	50
3.3.	Preparación de módulos	50
3.3.1.	Construcción	50
3.3.2.	Plastificado	51

	Página
3.4. Selección y preparación del sustrato o medio de cultivo	51
3.4.1. Escoria volcánica	52
3.4.1.1. Tamizado	52
3.4.1.2. Lavado	52
3.4.2. Granza de arroz	53
3.4.2.1. Fermentación	53
3.4.2.2. Ceniza de granza	53
3.4.2.3. Mezcla de la granza de arroz con ceniza de granza	55
3.4.3. Sustrato : Mezcla escoria volcánica y granza de arroz	55
3.5. Colocación de los sustratos en los módulos.	55
3.6. Desinfección de los sustratos	56
3.7. Prácticas de manejo del cultivo	56
3.7.1. Siembra de remolacha	56
3.7.2. Raleo y transplante	57
3.7.3. Aporco	57
3.7.4. Escardado	58
3.7.5. Control de plagas y enfermedades .	58
3.7.6. Fertilización	59
3.7.7. Cosecha	59
3.8. Metodología para el cálculo de lámina e intervalo de riego	60

	Página
3.8.1. Recabación de información climática	60
3.8.2. Pruebas de laboratorio	63
3.8.2.1. Determinación de la gravedad específica aparente (GEA) de los sustratos	63
3.8.2.2. Calidad del agua	66
3.8.3. Determinación de la capacidad hídrica de los sustratos	66
3.8.4. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo	67
3.8.5. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)	69
3.8.6. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc)	70
3.8.6.1. Cálculo de ETc mensual	73
3.8.6.2. Cálculo de ETc de acuerdo a las fases fenológicas	73
3.8.7. Cálculo de láminas de riego e intervalo de riego	77
3.8.7.1 Cálculo lámina de reposición	78
3.8.7.2 Intervalo de riego	78
3.8.8. Cálculo de láminas aplicadas calculadas a partir de ETc	80
3.8.9. Intervalo de riego utilizado	81
3.8.10. Forma de aplicación del riego ...	82

	Página
3.9. Metodología estadística	83
3.9.1. Tratamientos	83
3.9.2. Diseño experimental y estadístico.	83
3.9.3. Variables analizadas	89
3.9.3.1. Porcentaje de germina- ción	89
3.9.3.2. Altura de plantas	90
3.9.3.3. Número de hojas	90
3.9.3.4. Peso de raíces carnosas.	90
3.9.3.5. Diámetro de raíz carnosa.	91
3.9.3.6. Peso seco de la raíz ab- sorbente	91
3.9.3.7. Clasificación por el nú- mero de remolachas y pe- so según el diámetro de la raíz absorbente	91
3.9.3.8. Grados brix	92
3.9.3.9. Número de plantas por me- tro cuadrado	92
3.9.4. Análisis de correlación	92
4. RESULTADOS Y DISCUSION	93
4.1. Condiciones climáticas del lugar donde se desarrolló el ensayo	93
4.2. Aspectos generales del cultivo	94
4.3. Control de plagas y enfermedades	99

	Página
4.4. Porcentaje de germinación	101
4.5. Altura de planta a los quince días	104
4.6. Altura de planta a los treinta días	108
4.7. Altura de planta a los cincuenta días	114
4.8. Número de hojas a los treinta días	119
4.9. Hojas-planta a los cincuenta días	124
4.10. Peso de la raíz carnosa	127
4.11. Diámetro de raíces carnosas	132
4.12. Peso seco de la raíz absorbente	140
4.13. Clasificación por el número y peso según - el diámetro de la raíz carnosa	144
4.14. Grados brix	149
4.15. Número de plantas por módulo	154
4.16. Análisis de correlación	157
5. CONCLUSIONES	159
6. RECOMENDACIONES	162
7. BIBLIOGRAFIA	164

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Propiedades físico-químicas de la cascari- lla de arroz	9
2	Análisis químico de la escoria volcánica - roja	12
3	Principales mezclas de sustratos utiliza- dos en hidroponía	14
4	Valor nutritivo de la remolacha en base a 100 gramos de peso neto	27
5	Factores que influyen en la evapotranspira- ción	43
6	Preparación de extractos de ajo y cebolla, y solución jabonosa, para el control de -- plagas	61
7	Programa de fertilización a base de ferti- lizantes sólidos y líquidos, usando como - sustratos escoria volcánica, granza de -- arroz y una mezcla de ambos, para el culti- vo de remolacha	62
8	Datos climatológicos promedios mensuales - correspondientes a los meses de noviembre, diciembre de 1991 y enero de 1992	64

Cuadro		Página
9	Determinación de la gravedad específica aparente para los sustratos escoria fina (6 mm), escoria gruesa (6 mm), granza de arroz y mezcla)	65
10	Contenido de humedad a capacidad de campo y punto permanente de marchitez en los sustratos escoria volcánica fina y gruesa, granza de arroz y mezcla	67
11	Valores de evapotranspiración (ETP) calculados por el método de Hargreaves para los meses de noviembre y diciembre (1991), enero - (1992)	69
12	Coefficientes de cultivo Kc correspondientes a cultivos extensivos y de hortalizas en diferentes fases de su crecimiento y según las condiciones climáticas predominantes	72
13	Valores de evapotranspiración del cultivo ETC para los meses de noviembre y diciembre de 1991 y enero de 1992; y por fase fenológica para el cultivo de remolacha de mesa	77
14	Determinación de láminas e intervalos de riego para remolacha de mesa utilizando como sustratos escoria volcánica, granza de arroz y mezcla	80
15	Determinación de láminas de riego, calculadas a partir de la ETC de remolacha de mesa, utilizando como sustratos escoria volcánica, granza de arroz y mezcla	82

Cuadro		Página
16	Volúmenes de agua aplicados de acuerdo a la fase vegetativa del cultivo en litros	84
17	Descripción de láminas de riego y sustratos utilizados en la producción hidropónica de remolacha	85
18	Descripción de tratamientos utilizados en la producción hidropónica de remolacha	86
19	Altura y número de hojas de diferentes períodos vegetativos de remolacha de mesa utilizando sistema hidropónico	97
20	Porcentaje de germinación de la semilla de remolacha; con tres sustratos y cuatro láminas de riego	101
21	Análisis de varianza del porcentaje de germinación de la remolacha, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	102
22	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en porcentaje de germinación en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia	102
23	Altura promedio (cm) de plantas de remolacha a los quince días después de la siembra con tres sustratos y cuatro láminas de riego	105

Cuadro		Página
24	Análisis de varianza de altura promedio (cm) de plantas de remolacha a los quince días - después de al siembra, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	106
25	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en la altura de plantas - de remolacha a los quince días de <u>crecimien</u> to en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia	106
26	Altura de plantas promedio de remolacha a - los treinta días después de la siembra en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego	109
27	Análisis de varianza de altura de planta <u>pro</u> medio de remolacha a los treinta días des- pués de la siembra en cm, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	110
28	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en la altura de plantas de remolacha a los treinta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de sig- nificancia	110
29	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en la altura de -- plantas de remolacha a los treinta días de crecimiento en cm en cultivo hidropónico, al 5% de significancia	111

30	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustratos y láminas de riego en altura de plantas de remolacha a los treinta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia	111
31	Altura de plantas promedio de remolacha a los cincuenta días después de la siembra en cm, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	115
32	Análisis de varianza de altura de planta - promedio de remolacha a los cincuenta días después de la siembra en cm, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	116
33	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en la altura de plantas de remolacha a los cincuenta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia	116
34	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en la altura de plantas de remolacha a los cincuenta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia	116
35	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustratos y láminas de riego en altura de plantas de remolacha a	

	los cincuenta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.	117
36	Medias de número de hojas-planta de remolacha a los treinta días, con cuatro láminas y tres sustratos	119
37	Análisis de varianza de número de hojas/planta a los treinta días	120
38	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de parcela principal (sustrato) en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	120
39	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustrato x lámina, en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	120
40	Medias de número de hojas-planta de remolacha a los cincuenta días, con cuatro láminas y tres sustratos	124
41	Análisis de varianza de número de hojas-planta a los cincuenta días	125
42	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de subparcela (láminas) en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	125

Cuadro		Página
43	Medias de peso del bulbo de remolacha en gramos al final del ciclo vegetativo en tres sustratos y cuatro láminas de riego .	127
44	Análisis de varianza de peso promedio de la raíz carnosa de remolacha en gramos ...	128
45	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en cultivo hidropónico de remolacha al 1% de significancia	129
46	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de lámina en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	129
47	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustrato x lámina en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	129
48	Diámetros promedios de las raíces de remolacha en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego	133
49	Análisis de varianza de los diámetros promedios de las raíces de remolacha en centímetros, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	134
50	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en los diámetros de las raíces en cm en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	134

Cuadro		Página
51	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en los diámetros de las raíces en cm en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia	134
52	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustratos y láminas de riego en diámetros de las raíces en (cm) en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia	135
53	Peso seco promedio de la raíz absorbente - de remolacha en gr con tres sustratos y cuatro láminas de riego	141
54	Análisis de varianza del peso seco promedio de la raíz absorbente de remolacha en gramos, con tres sustratos y cuatro láminas de riego	142
55	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en peso seco de la raíz en gr; en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia	142
56	Porcentaje en relación al número de remolachas según el diámetro	146
57	Porcentaje en relación al peso según el diámetro de raíces de remolacha	149

Cuadro		Página
58	Medias de grados brix de los bulbos de remolacha en (%) al final del ciclo vegetativo usando tres sustratos y cuatro láminas de riego	150
59	Análisis de varianza de grados brix en porcentaje	151
60	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia ..	151
61	Prueba de Duncan para diferencia entre medias de tratamientos en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia	151
62	Medias del número de plantas por metro cuadrado al final del ciclo vegetativo en tres sustratos y cuatro láminas de riego	155
63	Análisis de varianza de número de plantas - por metro cuadrado al final del ciclo vegetativo	156
64	Grado de correlación entre variables en estudio en la producción hidropónica de remolacha	158

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Módulo hidropónico tipo	54
2	Kc medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la ET_0 (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas - lluvias apreciables	71
3	Gráfico de determinación de Kc para meses y fases del cultivo de remolacha de mesa	76
4	Plano de distribución de los tratamientos y repeticiones en los módulos hidropónicos ..	88
5	Efecto de sustrato en altura de plantas (cm) a los 15, 30 y 50 días, en remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), Crosby Egiptian	98
6	Principales enfermedades encontradas en el - cultivo de remolacha, en sistema hidropónico.	100
7	Efecto de láminas de riego en el porcentaje de germinación de remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), Var. Crosby Egiptian	103
3	Efecto de sustratos y láminas de riego en - el número de hojas por planta a los 30 días en remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), Var. Crosby Egiptian	122
9	Efecto de láminas de riego en el número de hojas por planta a los 50 días en remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), var. Crosby Egiptian	126

Figura		Página
10	Efecto de sustratos y láminas de riego en el peso de la raíz carnosa (gr/m^2) de las raíces de remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), var. Crosby Egiptian	130
11	Efecto de sustratos y láminas de riego en el diámetro de las raíces (cm) de remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), Var. Crosby Egiptian	136
12	Efecto de sustratos en peso seco de la raíz (gr) de remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), Var. Crosby Egiptian	143
13	Efecto de los sustratos en la clase según el diámetro (cm) de remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), var. Crosby Egiptian	147
14	Efecto de láminas de riego en la clase según el diámetro (cm) de remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), var. Crosby Egiptian	148
15	Efecto de sustratos y láminas de riego en grados brix (%) en remolacha (<u>Beta vulgaris</u>), var Crosby Egiptian	152

1. INTRODUCCION

En el presente ensayo se trabajó con la técnica de hidroponía, que tiene como principio natural el no uso del suelo, la cual considera la utilización eficiente de los recursos necesarios para su implementación. Esta técnica a diferencia de los métodos convencionales de producción de hortalizas, difiere en la metodología a emplear, siendo éste un sistema controlado, de áreas restringidas y maximización de los materiales. La producción hidropónica permite producir hortalizas libre de contaminantes y residuos químicos, reduciendo los riesgos de enfermedades gastrointestinales y la no contaminación del medio ambiente. Este sistema de producción es una alternativa alimenticia que impacta en zonas marginales y submarginales, y en aquellas donde el recurso suelo es una limitante. Por lo que permite mejorar la dieta alimenticia y fortalecer la economía del núcleo familiar.

Con el presente trabajo se pretende aportar nuevos elementos que contribuyan a la utilización de la técnica hidropónica, dichos elementos comprenden la optimización del recurso agua y el uso de materiales utilizados como sustratos, que generan una mejor producción de las hortalizas.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Hidroponía

La hidroponía puede ser definida como la ciencia para el crecimiento de las plantas, sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte tal como gravilla, arena, escoria, -- cascarilla de arroz, etc., a los cuales se añale una solución de nutrimentos que contienen todos los elementos esenciales requeridos por la planta, para su normal desarrollo (8)

Los cultivos hidropónicos logran el máximo aprovechamiento de recursos materiales, cada semilla representa una planta que necesita recursos de agua y de nutrimentos mínimos. A diferencia de los cultivos convencionales, no se produce desperdicio pues los recursos se utilizan con exactitud matemática sin necesidad de inundar de nutrimentos y pesticidas. La relación insumo/producción es diez veces más favorable que en los cultivos convencionales (8).

Los cultivos hidropónicos presentan las siguientes ventajas sobre los cultivos tradicionales: mejor control de los factores externos como clima, malezas, plagas, enfermedades, deficiencia o exceso de nutrimentos; mayor calidad de los productos; mayor precocidad; aumento de la productividad; mejor aprovechamiento del área disponible; aprovechamiento de áreas infértiles; mayor densidad de plantación y por conse-

cuencia un incremento en la producción por unidad de área
(8).

La ventaja principal —y obvia— de un cultivo hidropónico es su independencia del factor tierra. En la zona ur bana es muy difícil conseguir tierras para cultivos, aunque sea en mínima extensión. En los campos, los cultivos hidro pónicos representan un recurso valioso, pues permite cultivar productos que en determinadas regiones resultan imposibles de obtener en tierra. Además que ayuda a mejorar la dieta alimenticia de una familia y es factible de transformarse eventualmente, en una fuente de recursos complementarios para el presupuesto familiar (8)..

2.1.1. Sustratos

Los sustratos adecuados para los cultivos hidropónicos son aquellos que por su composición estructural (estabilidad y granulometría) posibilitan una buena aireación. Resultan ideales aquellos que ofrecen la posibilidad de una proporción aproximada del 30% de materiales y un 70% de espacios vacíos, los cuales deberán ser ocupados por partes iguales de aire y agua (8).

La capacidad de retención del sustrato indicará la necesidad de frecuencia de los riegos. A mayor capacidad de re tención de agua del sustrato, menor será la frecuencia del riego y viceversa (8).

El agua no debe anegar la zona correspondiente a los receptáculos de aire. El sustrato debe contener la porosidad suficiente para que se forme una especie de cojín de aire (8).

Lo importante es que los materiales a utilizarse no sufran alteraciones ni sean susceptibles de reaccionar químicamente. El sustrato no debe disgregarse, ni descomponerse, y si esto ocurre debe ser en una proporción mínima y rectificable. El sustrato debe ser químicamente inactivo, no puede absorber ni, por el contrario, proporcionar elementos nutritivos para la planta. De ocurrir lo anterior, ello representaría una alteración inaceptable en la composición de los elementos nutritivos a la planta (8).

Los gránulos o partículas del sustrato deberán ser superiores a dos milímetros para evitar la compactación del sustrato que de producirse, resultaría funesto para la planta (8).

El sustrato deberá estar libre también de plagas y enfermedades. No resultan adecuados aquellos sustratos que contengan tierra, aunque sea en proporción ínfima, especialmente, si ésta es de alto contenido vegetal y orgánico. Además un sustrato hidropónico debe ser liviano, estar disponible y ser de bajo costo (8).

2.1.2. Tipos de sustratos

Dependiendo del origen, los sustratos son de dos tipos:

de origen orgánico tales como la cascarilla de arroz, cenizas, aserrines y virutas, turba; y los de origen mineral tales como las arenas, gravas, las escorias, ladrillos y tejas molidas (8).

2.1.2.1. Sustratos de origen orgánicos

- Granza de arroz

Es un sustrato biológico de baja tasa de descomposición dado su alto contenido de silicio. Es un sustrato liviano cuyo principal costo es el transporte, dado que para los molinos es un estorbo. Se presenta como un elemento liviano de buen drenaje, buena aireación pero presenta un serio problema para su humedecimiento inicial y para conservarlo húmedo homogéneamente cuando se trabaja como sustrato único en bancadas (8)

En los sistemas donde se utiliza fertilizantes líquidos, conocido como sistema de láminas de nutrientes, la granza se comporta bien como sustrato adicional. Esta posee una buena inercia química pero puede tener problemas de residuos de cosecha; como granos de arroz enteros o fragmentos, a la vez que pueden encontrarse semillas de otras plantas, que pueden germinar, generando un problema de malezas (8, 6).

En hidroponía la granza por ser liviana permite mayor utilización -

del espacio vertical y horizontal, no ofreciendo así, suficiente estabilidad a los cultivos, da buen drenaje, buena aireación, pero presenta baja retención de humedad inicial y es difícil conservar la humedad homogéneamente cuando se usa como sustrato único, por lo que se recomienda mezclarla con otros tipos de materiales o ceniza de la misma cascarilla (6).

Con el tiempo de uso, la granza de arroz sufre una degradación física, que ocasiona cambios en sus propiedades físico químicas, las cuales son favorables al desarrollo de los cultivos hidropónicos; entre los cambios más notables que se pueden observar están: aumento de la retención de humedad y capilaridad. A este proceso se llama envejecimiento de la granza de arroz. En el Cuadro 1 se detallan las propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz (6).

Para utilizar granza de arroz como sustrato hidropónico, es necesario hacerle un tratamiento especial llamado proceso de fermentación, este proceso puede ser realizado de dos formas, por humedecimiento de la granza y por inundación de la granza (13, 25).

a) Fermentación de la granza por humedecimiento.

Este proceso se hace con el objeto de eliminar los granos de arroz presente, para lo cual se procede a humedecerla, ocurriendo ciertas reacciones químicas. Inicialmente los granos de arroz reaccionan con el agua, éstos se hidrolizan, y sus

X

almidones se van convirtiendo en azúcares como la glucosa la cual se va fermentando con la consecuente producción de alcohol y ácido carbónico, que son fitotóxicos por vía radicular y causan síntomas similares a los de clorosis férrica (deficiencia de hierro) en las plantas (6).

La fermentación en condiciones aeróbicas dura de 15-20 días a 18 grados centígrados, y se produce un incremento del pH aproximadamente hasta 7.8, además se presenta en la solución un nivel creciente de glucosa que pueda llegar a 2 mg/lit y se detecta la presencia de espuma y emisión de CO₂ (6).

b) Fermentación de la granza por inundación.

Llamada también digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno), para este fin se debe disponer de un tanque, donde la cascarilla se pueda dejar inundada con agua durante 10 a 15 días. Este sistema permite eliminar los insectos que tenga la cascarilla, pero poco se sabe si es efectivo en la destrucción de hongos. Por otra parte, el método no es muy efectivo en la eliminación de los residuos del arroz, ya que las condiciones anaerobias hacen que la fermentación de los almidones sea demasiado lenta (6).

Durante esta digestión, las bacterias anaerobias obtienen el oxígeno a expensas de otros compuestos, entre los cuales hay algunos que contienen azufre en forma de sulfatos. Estos compuestos se reducen y se produce anhídrido sulfhídrico, un gas extremadamente tóxico y fétido. Este gas es muy

bajas concentraciones unido a la carencia de oxígeno, elimina todos los insectos que pueda tener la cascarilla (6).

Después de la digestión, que dura aproximadamente de 10 a 15 días, según la temperatura, se deja esparcida la cascarilla al aire, para que se oxigene y se seque (6).

- Cenizas.

Estas pueden obtenerse del carbón de leña y para su uso es necesario remojarlas en agua por un período de 24 horas y luego lavarlas bien antes de colocarlas en los recipientes hidropónicos; a este procedimiento se le da el nombre de lixiviación. No deben decantarse las cenizas más finas, se les dejará secar para luego mezclarlas con las más gruesas y obtener así el medio de cultivo (1).

- Aserrines y virutas

Los aserrines y virutas suelen tener el problema del desconocimiento de su origen, lo que implica un riesgo alto por la eventual presencia de compuestos tóxicos de la madera.

El aserrín tiene un pésimo drenaje, aumenta su peso proporcionalmente al agua que retiene y es muy difícil de mojar inicialmente, causa problemas por encharcamiento (8).

- Turba.

La turba consiste en vegetación acuática, pantanosa o de ciénaga parcialmente descompuesta, la composición de los diferentes depósitos de turba varía ampliamente dependiendo de la vegetación original, estado de descomposición, contenido mineral y grado de acidificación. Existen tres tipos de tur

X

ba: Turba de musgo, de cañaveral y de humus; la primera es la menos descompuesta y proviene de Sphagnum, Eriophorum y otros musgos teniendo una alta capacidad de retención de humedad y alta acidez pH de 3.8-4.5 y conteniendo una pequeña cantidad de nitrógeno, cerca del 1%, aunque con poco o nada de fósforo y potasio (11, 25).

Cuadro 1. Propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz.

Densidad a granel	0.12-0.13	gr/ml
Capacidad de intercambio catiónico, CIC meg/100 ml	2-3	meg/100 ml
Retención de humedad	0.10-0.12	lt/lt
Análisis químico :		
Nitrógeno	0.50-0.60	%
Fósforo	0.08-0.10	%
Potasio	0.20-0.40	%
Calcio	0.10-0.15	%
Magnesio	0.10-0.12	%
Azufre	0.12-0.14	%
Hierro	200 - 400	ppm
Manganeso	200 - 800	ppm
Cobre	3 - 5	ppm
Zinc	15 - 30	ppm
Boro	4 - 10	ppm
Cenizas	12 - 13	%
Sílice (SiO ₂)	10 - 12	%

Fuente : COLJAP INDUSTRIA AGROQUIMICA. 1991. Los sustratos (6).

2.1.2.2. Sustratos de origen mineral

- Escorias

X

Como sustrato tiende a degradarse físicamente hasta convertirse fi
jadoras de fósforo y boro, siendo necesaria tamponarla con estos ele-
mentos y estar atenta a la granulometría, pues cuando es
muy fina produce encharcamiento y cuando es gruesa tiene
los problemas de las gravas (8).

- Escoria volcánica roja

Estas rocas son de origen volcánico; pertenecen al sub-
tipo de rocas ígneas o eruptivas. Proviene de un magma in
terior semifluido que se forma sobre las rocas que lo cubre
abriéndose paso por lugares de poca resistencia volcándose
a veces al exterior en forma de mantos o rellenando cavida
des en el interior. En el primer caso constituye rocas efu
sivas o volcánicas que al enfriarse rápidamente, los crista
les que se forman son pequeños y hasta microscópicos. En el
segundo caso forman rocas intrusivas pues al enfriarse lenta
mente, los elementos minerales, cristalizan poco a poco, pre
sentando una estructura granular (24).

De acuerdo a su contenido mineralógico son básicas, ya
que tienen menos del 52% de silicatos. Estas contienen ade
más minerales como : calcio, magnesio y hierro, presentando
colores oscuros y son pesados debido al contenido de minera
les de hierro (9).

En cuanto a su textura es vítrea, sin cristales defini-
dos y ocurre cuando el magma se enfría rápidamente y los ---

cristales minerales no tienen tiempo de formarse, por consiguiente constituye una masa enteramente vitrosa (27).

Su estructura es porosa debido a la gran cantidad de poros que se forman los cuales son el resultado de los gases que se expanden en las grandes masas de lava que se desplazan en las superficies como espuma (9, 25).

La escoria puede utilizarse como sustrato, ya que presenta un contenido químico de elementos no disponibles a la planta. Dicho sustrato presenta variaciones en las cantidades de elementos encontrándose en mayor proporción el calcio y fósforo, 602.50 y 104.45 ppm respectivamente, pero que no cumplen con las necesidades nutricionales de los cultivos. En el Cuadro 2 se presenta algunas propiedades químicas de la escoria volcánica (1).

- Arenas

Al hablar de arenas es necesario hablar de arenas lavadas o con un mínimo (casi nulo) contenido de arcillas que conlleven problemas de fijación iónica (8).

Igualmente para las arenas es necesario cuidar la procedencia, evitando orígenes calcáreos por sus problemas de exceso de algunos elementos y de manejo del pH (8).

Otro factor a tener en cuenta es la granulometría de este sustrato tendiéndose, cuando es muy homogénea y fina a presentar compactaciones, encharcamientos y asfixia radicular. Es un elemento de alto peso y costo variable (8).

Cuadro 2. Análisis químico de la escoria volcánica roja.

Características	Unidades	Valor
Textura	--	Vítrea
Estructura	--	Porosa
pH	--	8.5
Nitrógeno nítrico	ppm	35
Fósforo	ppm	104.45
Sodio	ppm	60.0
Potasio	ppm	38.75
Calcio	ppm	602.50
Magnesio	ppm	70.00
Manganeso	ppm	23.75
Cobre	ppm	1.00
Hierro	ppm	31.50
Zinc	ppm	2.18
Boro	ppm	0.41
Azufre	ppm	6.00

Fuente : AGUILAR, W.; MORENO, M.E.; NIETO M., C.A. Cultivo hidropónico de remolacha en sustratos de escoria volcánica roja y granza de arroz utilizando fertilizantes tradicionales. 1992 (1).

- Gravas

Las gravas en general no son buenos elementos para hidroponía de subirrigación, dado que por el tamaño de las partículas no presentan buena distribución del agua horizon

talmente y la capilaridad es muy baja.

Tienen magnífico drenaje, por lo que se pueden sus partículas pueden presentar problemas a los cultivos de bulbos o raíces y a los tallos de plantas (8).

- Ladrillos y tejas molidas

Son buenos sustratos como retenedores de humedad dada su extraordinaria porosidad; es necesario cuidar su origen en cuanto a la presencia de elementos calcáreos. Es un sustrato que tiende a degradarse físicamente y lo irregular de sus partículas pueden presentar los mismos problemas de las gravas, pesado y de difícil manejo (8).

2.1.2.3. Mezclas de sustratos

Los sustratos pueden mezclarse para mejorar las características individuales de sus componentes. En Bogotá las mezclas más comunes son escoria fina de carbón con cascarilla de arroz en relación 1:1 a volumen (es decir, por cada bulto de escoria un bulto de cascarilla de arroz), y arena de río con cascarilla de arroz en relación 2:1 a volumen (4).

La mezcla de granza de arroz más ceniza de granza utilizadas en nuestro medio lleva una relación 3:1 de volumen (1).

La arena, la escoria o piedra pómez son excelentes mezcladores para garantizar la distribución de la humedad. Pero - cuyas proporciones y elementos dependen del análisis de las -

características de cada componente en particular (Cuadro 3). Las proporciones de cada uno de los ingredientes empleados siempre deberán buscar un acuerdo con las características contempladas en el decálogo del sustrato, sin embargo las mezclas más sueltas podrán servir para cultivos bajo techo y las mezclas más pesadas podrán utilizarse para cultivos - al aire libre (11, 25, 28).

La gravilla, el ladrillo picado y el aserrín, mezclados en proporción de una parte de cada uno, ha sido un sustrato bastante generalizado en algunas zonas urbanas y marginales. Mezclas de dos partes de cascarilla de arroz con una parte de arena fina han servido para establecer cultivos verticales, en bolsas plásticas (5).

Cuadro 3. Principales mezclas de sustratos utilizados en hidroponía.

COMPONENTES	PROPORCION
Granza de arroz - Escoria	1:1
Granza de arroz - Arena	1:1
Granza de arroz - Tierra	4:1
Granza de arroz - Ceniza de granza	3:1
Aserrín - Escoria	1:1
Piedra pómez - Aserrín	1:1
Granza - Aserrín - Escoria	1:1:1

Fuente : COLJAP INDUSTRIA AGROQUIMICA. 1991. Los sustratos (6).

2.1.3. Desinfección de sustratos

La desinfección de los sustratos a utilizarse o ya utilizados es una práctica que se realiza para eliminar posibles problemas como: presencia de insectos que se hospedan en el sustrato de organismos patógenos como hongos o bacterias, semillas de malezas, etc. a los cultivos a establecerse o que han afectado considerablemente al último cultivo (4).

En hidroponía el método más aconsejable para desinfectar sustratos es el calor húmedo. Este método consiste en encharcar con agua hirviendo el sustrato dos horas, después se libera el exceso de humedad y se puede utilizar sin ningún tratamiento adicional (4).

También se puede regar amoníaco, a razón de 100 centímetros cúbicos disueltos en cuatro litros de agua, por cada metro cuadrado. Se cubre con un material impermeable (plástico) que impida la salida de los vapores del amoníaco, dos días después se destapa, se revuelve el sustrato y un día más tarde puede cultivarse (4).

El amoníaco debe manejarse con cuidado; es necesario usar guantes, no deben inhalarse sus vapores y deben protegerse los ojos de su contacto. (4).

Los sustratos también pueden desinfectarse con formol, cloruro de benzalconio, vapam, bromuro de metilo, etc (4).

Todos los anteriores métodos de desinfección, si ya se ha cultivado, debe realizarse una vez las plantas hayan sido removidas del sustrato (4).

2.1.4. Módulos de cultivo

Su función básica es contener el sustrato en el cual crecerán las raíces de las plantas. Deben ser de un material que no se descomponga rápidamente y que no altere las propiedades de la solución nutritiva y del sustrato, si no son de plástico, vidrio o porcelana, deben recubrirse con polietileno (plástico) (4).

Algunos recipientes hechos de zinc, aluminio, etc., no deben emplearse sin cubrimiento plástico porque las hortalizas podrían alcanzar niveles tóxicos para el consumo. Los módulos de cultivo deben tener orificios de drenaje, para eliminar excesos de humedad del sustrato (por lluvia o lavado) y evitar que el agua se escape rápidamente, para que las raíces la puedan absorber en las cantidades adecuadas (4).

2.1.5. Características de los módulos

2.1.5.1. Profundidad

Los módulos de cultivo pueden tener una profundidad hasta de doce centímetros, lo cual permite, el cultivo de una gran

diversidad de hortalizas. Para el cultivo de zanahoria y remolacha es preciso construir módulos de mayor profundidad hasta 20 cm (4).

2.1.5.2. Ancho

El ancho del módulo no deberá ser superior a 1.2.m (120 centímetros), para que se puedan realizar fácilmente las labores culturales (siembra, fertilización, etc.), a cada lado del módulo (4).

2.1.5.3. Largo

Se pueden tener módulos hasta de 12 metros de longitud; sin embargo, se deberá considerar el área de cultivo, la facilidad para transitar, el tamaño y la disponibilidad de los materiales para la fabricación del módulo (4).

2.1.5.4. Pendiente

Los módulos largos tienen una pendiente que varía entre el 3 y 5% y en la parte más baja se coloca el drenaje o desagüe, donde saldrá el exceso de agua o solución nutritiva. Los módulos pueden tener o no patas, las cuales se colocan de acuerdo con las superficies disponibles (4).

2.1.5.5. Materiales

Los módulos de cultivo pueden construirse de muchos materiales, principalmente madera. También pueden construirse camas hidropónicas de fibro-cemento; los módulos de madera deberán recubrirse con plástico para que la madera no se deteriore rápidamente (4).

2.1.5.6. Tipos de recipientes *no*

Dentro de los recipientes utilizados en los cultivos hidropónicos tenemos: cultivos en canaletas, cultivos en ban-cadas, cultivos en sacos o bolsas individuales, cultivos tu-bulares horizontales, cultivos en columnas en la pared, sis-tema de canales, módulos de bambú, módulos de madera y otros (2, 7).

2.1.6. Factores básicos de la hidroponía

Las plantas necesitan de algunos elementos disponibles para su desarrollo; los fundamentos hidropónicos que se deben tener en cuenta para tal, tienen que ver con la correcta utilización de los factores ambientales. Los más importantes de éstos son: la temperatura, luz, aporte de CO₂ (aire), hume-dad, contenido de oxígeno en la zona de las raíces (4, 11).

2.1.6.1. Temperatura

Aunque las plantas son capaces de crecer solamente dentro de un estrecho rango de temperatura, la mayoría estará bien ambientada, con una temperatura promedio que vaya de los 10 °C a los 35 °C. La temperatura ideal para las plantas de clima templado se encontrará entre los 15 y 21 °C y de 24 a 32 °C para las especies tropicales. Una temperatura muy elevada poca luz y poca humedad, harán que las plantas se desarrollen muy poco y las hojas se arruguen. Las temperaturas bajas dificultan la absorción de agua y elementos nutritivos, llegando al marchitamiento y a la clorosis (8, 10). Además la influencia de la temperatura sobre la fotosíntesis dependerá de la intensidad de luz y la disponibilidad de CO₂, si estos factores se encuentran en cantidades adecuadas, la fotosíntesis será mayor a temperaturas relativamente altas, con la luz débil, la temperatura casi no influye en la fotosíntesis (21, 29).

2.1.6.2. Luz

Un cultivo hidropónico exigente y dependiendo de los requerimientos de la especie a cultivar se puede decir que a mayor luz, más rápido y mejor desarrollo. La luz es indispensable para la realización de la fotosíntesis, fenómeno imprescindible en la vida vegetal. Las plantas requieren dife

rentes cantidades de luz (energía solar) según el tipo de planta y su estado de desarrollo (8).

La principal ventaja en el cultivo de hidropónicos, que presentan las zonas tropicales, reside en la enorme cantidad de luz solar continua, todo el año, que poseen estos países. En sitios sombreados o donde la luz solar no ilumina durante todo el día la iluminación directa de la luz solar no debe ser inferior a cuatro horas diarias (4, 8).

2.1.6.3. Aporte de CO₂ (aire)

La concentración de CO₂ es talvés, el factor más difícil de controlar en el sistema hidropónico de cultivos vegetales. Por razones obvias las posibilidades de aireación de un cultivo hidropónico son mucho menores que en los cultivos convencionales. La medición de la concentración de CO₂ también presenta dificultades a nivel de consumo doméstico (8).

2.1.6.4. Humedad ambiental

Las mejores condiciones de asimilación de la planta se obtendrán con el mantenimiento de una humedad ambiente propicia para el trabajo de los estomas. De no ser así será factible la absorción del CO₂, es decir no habrá asimilación. Mientras más sistema foliar (hojas) posea la planta más necesidad habrá

de proporcionarle la mejor humedad ambiente. La relación de calefacción y humedad también debe ser controlada perfectamente (8).

Tanto la falta de humedad, como el exceso, son perjudiciales. Si falta la humedad en las raíces, la planta tenderá a conseguir ese faltante a través de las hojas (8).

2.1.6.5. Contenido de oxígeno en la zona de las raíces

Las raíces deben respirar perfectamente para lograr un adecuado desarrollo de la planta. Para conseguirlo, es importante que el sustrato sea poroso, de tal manera que el aire circule cómodamente. Se trata de ofrecerle oxígeno a la zona radicular (8).

La oxigenación adecuada del sistema radicular del cultivo hidropónico resulta fundamental para el éxito final del mismo. Manejando adecuadamente estos factores se pueden conseguir resultados superiores a los obtenidos en suelos y sistemas de cultivos convencionales (8).

2.1.6.6. Agua

El agua es muy importante en el desarrollo de las plantas; en hidroponía las plantas consumen menor cantidad porque ésta no se comparte con las partículas del suelo, las ma

lezas y otros organismos (4).

La cantidad de agua necesaria para un cultivo está determinada por : el tipo de planta, la edad y el nivel de desarrollo del cultivo, la temperatura, la transpiración, el viento, el sustrato, el tipo de drenaje y la utilización de invernadero (4).

En general, el consumo diario de agua oscila entre 2 y 8 litros por metro cuadrado (4).

El exceso de agua puede causar la pudrición de las raíces de la planta cuando no hay buena aireación. La falta de agua produce marchitamiento y entorchamiento de las hojas (4).

En hidroponía pueden utilizarse aguas de pozo, aguas lluvias, aguas depuradas o destiladas, las de río o de arroyo pueden utilizarse, siempre y cuando se tenga la seguridad que no estén contaminadas especialmente de sustancias residuales y que su contenido de sales minerales no sea muy alto (8).

La capacidad de retención del agua por un medio se determina a partir del tamaño de sus partículas y también por el espacio de poros; mientras más pequeñas sean las partículas, mayor será el espacio de poros (microporos) y su superficie, y de aquí que mayor cantidad de agua puede ser almacenada por éstas (8).

La calidad de agua es fundamental para que el cultivo hidropónico pueda ser llevado a buen fin. Si el agua tiene un

contenido superior a 50 ppm de cloruro sódico resultará muy difícil que un cultivo llegue a prosperar en esas condiciones. Se observará entonces una disminución progresiva en el crecimiento del cultivo hasta morir del todo (8).

La dureza del agua (alto contenido de ión carbonato) bloquesa la absorción de nutrientes claves, como el hierro, por ejemplo. Las aguas duras presentan un gran contenido de sales de calcio y magnesio. Mucho mayor que la cantidad que verdaderamente necesita el cultivo (8).

2.1.6.7. Riego

En Bogotá, Colombia, se han desarrollado estudios importantísimos sobre riego. En uno de ellos señala : El agua es un elemento indispensable para las plantas puesto que forma parte de un altísimo porcentaje de la misma. Interviene en la formación de protoplasma, es disolvente de los gases, iones minerales y otros solutos que penetran y se desplazan por su interior, es necesaria para la turgencia de las células; e interviene en muchos de los procesos fisiológicos. Por todo esto se hace más que indispensable garantizarle a la planta un adecuado suministro de agua, y para esto contamos con el riego (8).

2.1.6.8. Cantidad de agua

Lo primero que se debe investigar cuando se pretende esta

blecer un cultivo hidropónico es cuánta agua hay disponible. Para esto hay que tener en cuenta el tipo de cultivo, el clima y los vientos que se presentan en la zona. Se puede establecer como norma que se disponga como mínimo de 5 lts/m²/día para hortalizas (8).

2.1.6.9. Calidad de agua

En este sentido no se puede fiar de la simple apariencia del agua y es absolutamente necesario recurrir a los análisis para determinar el contenido de minerales en solución, conductividad y condiciones sanitarias. De estos análisis se sabrá si el agua es apta o no para el riego (8).

2.1.6.10. Número de riegos

El número de riegos diarios puede fluctuar entre 2 y 6 de acuerdo al cultivo, al tipo de sustrato, a la humedad relativa y a los vientos (8).

2.1.6.11. Frecuencia de riego

La frecuencia de riego irá en directa relación a la humedad y temperatura ambiente, lo que producirá un mayor o menor grado de evaporación de las aguas. Ya se ha dicho que -

es necesario reemplazar el agua que se pierde por evaporación. Los sustratos conformados por medios lisos y grandes deberán regarse con una mayor frecuencia que aquellos más pequeños e irregulares. Cuando las instalaciones están al aire libre, la pérdida de humedad será mayor de acuerdo a la realidad climatológica existente en los diversos períodos de tiempo existentes (8).

2.2. Generalidades del cultivo de remolacha

La remolacha (Beta vulgaris), también llamada betabel o betarraga en algunos países, es una hortaliza del grupo de raíces para siembra directa, y se distingue por su color morado o púrpura y por los anillos concéntricos vistos en corte transversal. Se considera relativamente moderna, pues en el tiempo de las Antiguas Grecia y Roma ya se utilizaba como alimento, aunque sólo sus hojas (3).

2.2.1. Origen de la remolacha

La remolacha utilizada como hortaliza de mesa, se originó en Europa y se derivó de ciertos tipos con raíz gruesa. Las primeras variedades eran achatadas o alargadas (3).

2.2.2. Clasificación de la remolacha

La remolacha pertenece a la familia Chenopodiaceae y -

su nombre botánico Beta vulgaris L., es una planta bianual; florece y produce semilla en el segundo año, excepto bajo - ciertas condiciones especiales (3).

Las remolachas agrícolas se dividen en forrajeras, azuca_r reras, semiazucareras y hortícolas (3).

2.2.3. Utilización

Las remolachas hortícolas son utilizadas para ensaladas y entremeses, de tamaño pequeño y color vinoso. La conservación en vinagre, llamada también en curtido, es un método que se utiliza en el hogar, conservando su aroma y sabor peculiar (3). Su valor nutritivo se puede observar en el Cuadro 4.

La remolacha se conserva fundamentalmente por "apertización", aunque también puede deshidratarse. Las variedades más utilizadas son Detroit, Crosby y Claudia (3).

2.2.4. Características botánicas de la remolacha

2.2.4.1. Raíz

Es dura, fibrosa y larga en las especies espontáneas, pero mediante el cultivo y la selección se ha transformado en un cuerpo carnosos cónico hacia abajo, globoso o napiforme que rara vez sobresale del nivel del suelo. Su color externo es

pardo claro o amarillento y la superficie rugosa, siendo - muy características dos surcos longitudinales casi opuestos y ligeramente espiralados en la mayoría de las variedades (14).

Cuadro 4. Valor nutritivo de la remolacha en base a 100 - gramos de peso neto.

Componentes	CANTIDAD/UNIDAD
Agua	87.5 gm
Calorías	47 Cal
Proteínas	0.3 gm
Grasa	0.1 gm
CARBOHIDRATOS :	
Carbohidratos totales	11.2 gm
Fibra crudas	0.8 gm
Cenizas	0.9 gm
Calcio	14.0 mg
Fósforo	32.0 mg
Hierro	0.9 mg
Tiamina	0.02 mg
Roboflavina	0.04 mg
Niacina	0.29 mg
Acido ascórbico	5.0 mg

Fuente : JAPON, Q.J. Cultivo extensivo de la remolacha de mesa. 1984 (19).

2.2.4.2. Cuello o corona

Es la parte superior y más ancha de la raíz en la que se insertan las hojas, en cuya axila, que se halla situada hacia el centro del cuello, aparecen las yemas, de las que brotan nuevas hojas cada vez más próximas al centro de la corona. El volumen del cuello es tanto más grande cuanto mayor sea el número de hojas producidas, y como este aumenta a medida que se eliminan las externas, resulta que la corona se hace más ancha, lo que se traduce en un descenso del porcentaje sacarino, por tratarse de la zona más pobre en azúcar (14).

2.2.4.3. Hojas

Las hojas constan de un largo y fuerte pecíolo y del limbo, que se halla recorrido longitudinalmente por el grueso nervio central. La hoja es bastante grande, oval, obtusa, algo acorazonada o en forma de pala. Su color es verde intenso y la superficie bastante rugosa. Las primeras hojas nacen en la porción periférica del cuello, brotando cada vez más interiormente por lo que siempre es más joven la que se acerca más al vértice (14).

2.2.4.4. Flores

Las masculinas tienen cáliz acrescente, petaloide y en -

forma de cazoleta. En el interior de cada uno de los cinco pétalos se halla situado un estambre, siendo los cinco de igual longitud. En el centro del receptáculo aparece el ovario con 5 estilos cortos, cada uno de los cuales termina en un estigma trilobado que contiene un óvulo compilótopo (14).

2.2.4.5. Semillas

El órgano de reproducción llamado grano, es en realidad un glomérulo compuesto de 4 a 6 semillas de color marrón - (14).

2.2.4.6. Tipos y variedades

Los tipos de remolacha, al igual que los de zanahoria, se distinguen por la forma de las raíces, que varía de globular a achatada y de globular a alargada. La preferencia moderna es por el tipo globular (3).

Se distinguen dos grupos de variedades: las de "plato", de raíz redondeada, que se desarrolla casi en la superficie del suelo y que, por lo general, son variedades precoces, y las "alargadas", de carne roja muy oscura, que sobresalen mucho del terreno, son más rústicas y productivas que las anteriores (19).

Dentro del primer grupo se cuenta con :

Plato de Egipto. Variedad de buena precocidad, de raíz aplanada bastante lisa, con un color rojo intenso, carne dura y dulzona. Es una variedad precoz. El follaje es de color verde oscuro con tintes rojizos. Se usa para mercado en fresco y para industria (19).

Detroit : Planta de vigor medio variedad de forma esférica, de color uniforme rojo oscuro, carne muy fina y dulce. El follaje es de un color verde rojizo. Es una de las variedades más cotizadas en todos los mercados. Se usa tanto para la industria como para el mercado en fresco (19).

Crosby : Es menos aplastada que la anterior, pero más productiva. Es menos utilizada para conserva por presentar zonas blancas en su carne. Follaje de color verde bastante oscuro (19).

Entre las variedades alargadas se destacan :

Larga Roja negra de las virtudes : Variedad francesa de carne roja muy oscura y dulce. Sobresale bastante del terreno. Variedad semi tardía (19).

2.2.5. Requerimientos generales de la remolacha

2.2.5.1. Clima

El clima apropiado es el fresco, con temperaturas medias de 15 a 18 °C, similares a las que se requieren para la zanahoria y las brásicas. Es un poco más tolerante a tem-

peraturas más extremas, siendo éstas de 4 a 24 °C. La mejor calidad la alcanza cuando su cultivo se realiza en períodos fríos. La temperatura óptima de germinación se sitúa alrededor de los 25 °C, tardando unos 15 días en emerger (3, 19).

Puede decirse que a temperaturas altas y otras condiciones desfavorables, la raíz de la remolacha desarrolla anillos de color claro alternados con los de rojo o violeta oscuro, lo que se considera como un demérito en la calidad (3).

El grado de temperatura óptima se halla a partir de los 25 °C. En los países de temperaturas moderadas y largas horas de iluminación, la función de asimilación de la planta supera su función respiratoria. En cambio, cuando la duración del día disminuye y la temperatura aumenta, la asimilación de fotosintatos se reduce con el aumento de la temperatura la función respiratoria se activa con la destrucción de los fotosintatos. La asimilación de la planta desciende y puede cesar sobre los 35 °C, paralizando el crecimiento de la raíz y la acumulación de los azúcares (17).

2.2.5.2. Suelos

Como la mayoría de los cultivos que se aprovechan por su raíz, prefiere los suelos bien drenados, de consistencia media, como los limos aluviales, en todo caso fría

bles . Los suelos orgánicos son apropiados y los arenosos también, siempre que estén provistos de nutrientes y humedad suficientes. En los suelos de tipo arenoso se obtiene mayor precocidad, en los pesados se producen deformaciones de las raíces, siendo en éstas, además, las labores de cultivo más costosas (3, 19).

La remolacha es sensitiva a la acidez y es preferible que el suelo tenga en pH de 6 a 7. Puede ocurrir deficiencia de boro a pH de 7 ó más, lo mismo que clorosis debida a deficiencia de manganeso (3).

2.2.5.3. Luminosidad

La luminosidad ejerce influencia en la calidad de la remolacha, ya que actúa en la formación de los fotosintatos que se realiza en los tejidos mesofilianos, produciendo azúcares en las hojas a expensas del anhídrido carbónico (17).

La remolacha está incluida entre las plantas de día largo. Además, está incluida dentro del grupo de hortalizas que necesitan luminosidad alta para su adecuado desarrollo. Si la intensidad de luz es excesiva y va acompañada de temperaturas elevadas puede incluso reducir la función que realiza la clorofila (17).

La luminosidad conviene a la remolacha porque activa la función clorofílica que repercute en el crecimiento de las raíces y en la concentración de azúcares (14).

2.2.5.4. Agua

Las necesidades de la remolacha son considerables. La superficie foliar de la remolacha puede considerarse como una de las más desarrolladas entre los diferentes cultivos, como la transpiración se realiza a través de las hojas, la planta expulsa cantidades muy importantes de agua que debe tomar previamente del suelo (4).

2.2.5.5. Riegos

La remolacha necesita gran cantidad de agua para formar la abundante materia seca, cuyos componentes minerales penetran en la planta disueltos en aquella.

El caudal necesario para el riego dependerá de las siguientes características :

- Los sustratos permeables exigen más riegos, aunque menos copiosos.
- Los riegos deben ser tanto más abundantes cuanto mayores sean la evaporación y transpiración.
- Cuanto mejor se cultive el sustrato mayor será su retención, lo que permite reducir el caudal de riego.
- Sustrato con un contenido equilibrado de nutrimentos exigen menos aportaciones hídricas que los sustratos pobres.

El déficit hídrico como resultado de una deficiencia en la irrigación puede afectar el rendimiento de las raíces y -

el contenido de azúcar de la remolacha (23).

Miller y Aarstad, en 1972 y 1973 en su estudio realizado en el rendimiento de raíces fue reducido cuando el riego diario sólo representaba el 68% de la evaporación, comparada con el riego diario a 90% de la evaporación. El contenido de azúcar no fue significativamente diferente entre los tratamientos, sin embargo, éste tendió a ser más alto en el tratamiento con déficit de riego (23).

En 1974 la reducción de los rangos de riego de 100% de la evaporación a 50% tendió a disminuir el rendimiento de raíces carnosas, pero las diferencias no fueron significativas. Los porcentajes de azúcar fueron significativamente disminuidos por el déficit de riego y los rendimientos de azúcar fueron iguales para todos los tratamientos (23).

El grado de déficit de riego que puede ser tolerado es influenciado por el agua almacenada en el sustrato y por el efecto de déficit de riego sobre la transpiración. Otro importante aspecto del déficit de irrigación es el uso de eficiencias de agua en términos de rendimiento por unidad de agua absorbida por las plantas. El azúcar producida por unidad de agua usada durante el período se incrementó, así como el rango de irrigación disminuyó. Así, con déficit de riego de alta frecuencia la misma cantidad de azúcar puede ser producida con menos agua que es requerida por más altos rangos de irrigación (23).

2.3. Generalidades sobre el riego

2.3.1. Relación agua-sustrato

2.3.1.1. Peso específico real

El peso específico real del suelo es una cantidad sin dimensión que se define como el cociente entre el peso de una partícula de sustrato y el de un volumen de agua igual al de la partícula. El peso específico de la mayoría de los minerales varía de 2.5 a 5.0. El peso específico real de los sustratos que tienen un bajo porcentaje de materia orgánica varía muy poco, aproximándose mucho como término medio a 2.65 (18).

2.3.1.2. Peso específico aparente

El peso específico aparente de un sustrato se define como el cociente entre el peso de un volumen dado de sustrato "seco", incluido el espacio de poros, y el peso de un volumen igual de agua. Este cociente se denomina también "peso volumétrico" del sustrato. Mientras que el peso específico aparente carece de dimensión, puesto que es cociente de dividir el peso de un volumen de sustrato seco entre el peso del mismo volumen, pero esta vez de agua. La densidad expresa -

los gramos masa por centímetro cúbico o masa por unidad de volumen. Por tanto las dimensiones no son las mismas (18).

El peso específico aparente está influido por la estructura, por la textura y la compacidad (18).

El método más utilizado para determinar el peso específico aparente consiste en la obtención de una muestra de sustrato de volumen conocido, lo que se consigue en la práctica utilizando instrumentos, cuya capacidad volumétrica es conocida. El material es colocado en el recipiente y la porción así obtenida se somete a secado y se pesa posteriormente - (18).

2.3.1.3. Tipos de agua en el sustrato

El agua del sustrato se clasifica en higroscópica, capilar y de gravitación. El agua higroscópica está retenida en la superficie de las partículas del sustrato y no se mueve ni por la influencia de la gravedad ni de fuerzas capilares. El agua capilar es el excedente de agua higroscópica que existe en el espacio poroso del sustrato y que queda retenida contra la fuerza de la gravedad en un sustrato que permite el drenaje libre. El agua de gravedad es el exceso de agua higroscópica y capilar que será eliminada del sustrato si se le proporciona un drenaje natural. La proporción en que se encuentran cada uno de ellos depende de la textura, de la estructura, del contenido de materia orgánica, de la temperatura y del

espesor del perfil de sustrato considerado (18).

2.3.1.4. Retención del agua en el sustrato

La fuerza (tensión) de retención del agua depende de la cantidad en que se encuentre en el sustrato —mientras menor sea la cantidad, mayor será la tensión retentiva—. Las fuerzas que determinan esta tensión son la adhesión, o sea el grado de atracción de la partícula del sustrato por el agua, y la cohesión; que es la atracción de las moléculas de agua entre sí (30).

2.3.1.5. Conductividad hidráulica

Un sustrato que tenga un alto grado de porosidad y una textura burda y abierta, registra un índice alto de conductividad hidráulica (30).

2.3.2. Relación agua-sustrato-planta

2.3.2.1. Contenido de humedad del sustrato

El contenido de humedad del sustrato indica la cantidad de agua presente en el mismo. Se expresa comúnmente como la cantidad de agua (en mm de altura de agua) presente en una capa de suelo de 1 metro de espesor. El contenido de

humedad del suelo puede también ser expresado en porcentaje de volumen y porcentaje en relación de masas (2).

2.3.2.2. Saturación

Durante una lluvia o la aplicación de un riego, los poros del sustrato se llenarán de agua; se dice entonces que el sustrato quedará en saturación. Las plantas precisan de agua y aire en el sustrato. A saturación, hay ausencia total de aire y las plantas sufrirían (2).

2.3.2.3. Capacidad de campo

Cuando el drenaje se ha detenido, los poros más grandes están llenos con agua y aire mientras que los más pequeños están todavía totalmente llenos con agua. En este momento se dice que el sustrato está a capacidad de campo, y con las mejores condiciones para el crecimiento de las plantas (2).

El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad para la estimación de la cantidad de agua, contenida en el sustrato, de que puede disponer la planta. La mayor parte del agua de gravedad drena del sustrato antes de que pueda ser consumida por las plantas. La tensión de humedad de un sustrato que ha alcanzado la capacidad de campo, suelo estar comprendida entre $1/10$ y $1/3$ de atm (30).

2.3.2.4. Coeficiente de marchitamiento

El contenido de humedad de los sustratos, cuando las plantas se marchitan permanentemente, se denomina punto o coeficiente de marchitamiento, que corresponde al límite inferior de la humedad aprovechable por las plantas (30).

Cuanto más seco esté el sustrato, más fuertemente será retenida el agua remanente y más difícil será para las plantas extraer la humedad suficiente para hacer frente a sus necesidades hídricas (2, 30).

La tensión a la cual se produce el marchitamiento permanente oscila entre 7 y 40 atmósferas y depende de la velocidad de utilización del agua, del cultivo, del contenido de sales y de la textura (30).

2.3.2.5. Humedad utilizable

La diferencia de contenido de humedad del suelo, entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento, se denomina humedad utilizable, que representa aquella que puede ser almacenada en el terreno para su subsiguiente utilización por las plantas (30).

2.3.2.6. Humedad fácilmente utilizable

La humedad contenida entre las proximidades del punto de

marchitamiento no es utilizable fácilmente por las plantas, por lo que se emplea la denominación de "humedad fácilmente utilizable", para definir la parte de humedad utilizada que puede ser extraída por las plantas sin gran esfuerzo y que representa un 75% aproximadamente de la humedad utilizable total (30).

2.3.2.7. Estructura del sustrato

La estructura del sustrato influye en el grado en que el aire y el agua penetran y se mueven en el sustrato. Así mismo, afecta en cuanto a la penetración de la raíz (30).

Las variaciones en el crecimiento vegetal observadas en una situación determinada son causadas, sobre todo, por diferencias en la estructura. La estructura del sustrato puede afectar el crecimiento vegetal por distintas vías, unas directas y otras indirectas. Puede decirse que los cambios en la estructura ejercen efecto directo sobre el crecimiento vegetal y que puede atribuirse a la diferencias en los impedimentos mecánicos que ofrecen los sustratos en estudio, un crecimiento diferenciado de las partes vegetales. La estructura puede ejercer influencia sobre las plantas en forma indirecta, la mayor atención se ha centrado en las relaciones aire-agua que depende de diferencias en la estructura, puesto que aquellas se ven afectadas por el tamaño y continuidad de los poros (20).

Los sustratos unigranulares y masivos no tienen estructura. En este tipo de sustrato tal como el de arena suelta, el agua se filtra rápidamente; en los masivos con más lentitud. Los tipos de estructura más favorables para la captación del agua son los prismáticos, aterronados y granulares. Los laminados impiden la penetración del agua (30).

2.3.2.8. Efecto de la aireación en el sustrato

La aireación puede afectar la absorción de elementos nutritivos por las plantas, sea por cambios en la disponibilidad de nutrimentos del sustrato en respuesta a la airiación, o por cambios en la situación metabólica de las plantas. Una aireación deficiente disminuye la absorción de agua, como lo demuestra la marchitez de muchas plantas después de una inundación (20).

2.3.2.9. Succión de agua por la planta

Una planta debe absorber agua del suelo si la succión en ella es mayor que la del suelo. Gardner y Ehlig (1962) legaron a la conclusión de que la velocidad con que una planta toma agua del suelo estaría en proporción directa al gradiente de la succión y en proporción inversa a la resistencia total en el suelo y la otra en la planta (20).

2.2.2.10. Efecto del nivel de humedad del sustrato en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Según el cultivo de que se trate, el nivel de humedad del sustrato, varía en lo referente a la obtención de los mejores rendimientos y calidad del producto. La mayoría de las plantas tienen un grado mayor de eficiencia en la toma del agua si el nivel de humedad es alto. Al bajar este nivel la tensión de la humedad del sustrato aumenta y llega el momento en que la planta no puede extraer suficiente humedad para su óptimo desarrollo. La planta comienza a marchitarse y el crecimiento se retarda o cesa por completo (30).

2.3.3. Evapotranspiración

2.3.3.1. La evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración de un cultivo es la cantidad total de agua del sustrato consumida en la transpiración de las plantas y en la evaporación desde la superficie del sustrato donde las plantas vegetan. La transpiración, es el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitida por las hojas y reintegrada a la atmósfera y la evaporación, es el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superfi-

cie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas (18).

En otras palabras, la evapotranspiración del cultivo representa la cantidad de agua utilizada por el propio cultivo y su ambiente. La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros de agua usada por día (mm/día), por semana (mm/semana) o por mes (mm/mes) (2, 18).

Los factores que influyen en la evapotraspiración de un cultivo son muchos. Los principales factores, así como sus efectos, se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Factores que influyen en la evapotrasnpiración.

F A C T O R	Efecto sobre la evapotranspiración del cultivo	
	Alta	Baja
Clima	Cálido	Frío
	Seco	Húmedo
	Ventoso	Sin viento
	Sin nubes	Nuboso
Cultivo	Estadio medio-final	Estadio inicial o maduración
	Alta densidad de plantas	Baja densidad de plantas
Humedad del <u>sus</u> trato	Húmedo	Seco

Fuente : BROUWER, C. Introducción al riego, manejo del agua de riego, 1987 (2).

2.3.3.2 Relación entre la evapotranspiración - el clima y la fisiología de la planta.

Tanto el tipo de cultivo como su estado de desarrollo influyen sobre la transpiración y, en consecuencia, sobre la evapotranspiración (18).

Las diferencias de evapotranspiración diarias son producidas por el cambio de tiempo. Un día cálido seco y ven toso, hacen que la evapotranspiración aumente, mientras que uno frío es causa de que disminuya. Es difícil determi nar esta influencia del clima (18).

La influencia del tiempo sobre una planta que crece no es la misma que sobre una superficie libre de agua, como la de un tanque de evaporación. La exposición, la altura y el color de las hojas influyen itualmente sobre la evapotranspiración (18).

2.3.3.3. Determinación de la evapotranspiración del cultivo

Se suele estimar que el clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos. Prescindiendo de los valores climáticos, la evapotranspiración correspondiente a un cultivo dado, queda también determinada por el propio cultivo, al igual que sus características de crecimiento. El medio local, las condiciones del sustrato y su humedad, los fertilizantes, las infestaciones, enfermedades e insectos, las prác ticas agrícolas y de riego, y otros factores que pueden in

fluir también en las tasas de crecimiento y en la evapotranspiración consiguiente (10).

Se utilizan diversos métodos para predecir la evapotranspiración a través de variables climáticas, debido a la dificultad de obtener mediciones directas y exactas en condiciones reales. La mayoría de las fórmulas de predicción recurren a una diferenciación entre los elementos del clima y el cultivo (10).

Varios investigadores han estudiado en que medida la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, la presión de vapor y la radiación solar influyen sobre la evapotranspiración (18).

Los métodos de Penman y de la radiación proporcionan resultados óptimos tratándose de períodos de 10 días; el método de la cubeta clase A, puede ir en segundo lugar. En muchos climas, se ha aplicado preferentemente el método de Blaney-Criddle para períodos de un mes o más, también, en otros países se ha aplicado el método de Hargreaves (10).

El método de Hargreaves es el más recomendado para nuestro país, necesitándose para ello valores de temperatura, radiación, brillo solar y humedad relativa (12).

Las ecuaciones utilizadas son :

$$ETP = RSM (0.0135 \times t + 0.24)$$

$$RSM = 0.075 \quad RMM \times S^{1/2}$$

$$S = 12.5 (100 - HR\%)^{1/2}$$

Donde :

- S : Relación de insolación que expresa la relación entre la duración real y teórica del día, calculada a través de la humedad relativa, expresada en porcentaje.
- HR % : Humedad relativa expresa en porcentaje.
- RSM : Radiación solar incidente en mm/día.
- RMM : Radiación media mensual en mm/día
- t °C : Temperatura en grados centígrados.

2.3.3.4. Aspectos que deben considerarse para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

Antes de calcular la ETc, se procede a examinar los estudios agrícolas y climatológicos llevados ya a -- cabo, y los estudios e investigaciones concretas realizadas en relación con las necesidades de agua de los cultivos en la zona de que se trate. Se deben revisar los datos climáticos medidos disponibles; en cuanto sea posible, habrá que visitar las estaciones meteorológicas y de investigación y evaluar el medio ambiente, la ubicación, el tipo de instrumentos y las prácticas de observación y de registro de datos, con objeto de apreciar la exactitud de los datos disponibles (10).

2.3.3.5. Cálculo de la evapotranspiración - del cultivo de referencia : ETP.

A partir de los datos meteorológicos disponibles; se escogerá el método de predicción para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia: ETP. si se cuenta con una serie completa de datos meteorológicos, la elección del método deberá basarse en el nivel necesario de exactitud para predecir la ETo (10).

2.3.3.6. Elección del coeficiente de cultivo: Kc.

El valor de Kc representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzca rendimientos óptimos (10).

Los factores que repercuten en el valor del coeficiente de cultivo son: las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas y, especialmente durante la primera fase de crecimiento, la frecuencia de las lluvias o del tiempo (10).

Se recomienda determinar valores del coeficiente para las diferentes fases de crecimiento por las cuales pasa el cultivo. El período vegetativo se divide en cuatro fases: inicial, desarrollo, mediado y final (10).

2.3.3.7. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo : ETC

Para cada período de 30 a 10 días deberá calcularse la evapotranspiración del cultivo, o sea $ETC = Kc \times ETP$ (10).

2.3.3.8. Examen de los factores que inciden - en la evapotranspiración del cultivo (ETC) en las condiciones locales predominantes.

La ETC real depende en gran medida de las condiciones locales, entre ellas la variación del clima, el tamaño de los campos y las características de su medio circundante, la advección, la altitud, la humedad del suelo, la salinidad, el método de riego, los métodos de cultivo y, a su vez, algunos de estas factores dependen en parte de las prácticas agrícolas y del riego que se utilice (10).

2.3.3.9. Modificaciones de la evapotranspiración del cultivo ETC en función de la advección (Fenómeno de Oasis).

La mayoría de los datos brutos utilizados para predecir la ETC se compilan en puntos situados en zona de -- secano o no cultivados e incluso en azoteas o terrazas o en aeropuertos. El microclima distinto dependerá primeramente

de la aridez del medio circundante, de los vientos, del tamaño de la superficie de riego y de la distribución y densidad de los barbechos de las tierras anegadas . (10).

Los cultivos de climas áridos y semiáridos pero rodeados de grandes zonas de barbecho de secano se prestan a la adecuación, mediante la cual unas masas de aire calentadas al pasar por esas zonas desprenderán calor al recorrer los campos regados. La energía de advección se resuelve en el efecto de "ropa tendida" en el borde del campo y en el efecto de "oasis" dentro de un campo de riego (10).

El efecto de "oasis" traerá consigo valores más altos de al ETC en el caso de tierras de riego rodeado por grandes barbechos de secano, en comparación con los campos de riego situados en extensas zonas verdes (10).

Por consiguiente, cuando se calcule la ETC a -- partir de datos compilados antes del proyecto de riego, es posible que se haga una predicción por exceso de un 5 a un 15%, en el caso de campos de 5 a 20 ha y de más de un 25% tratándose de grandes proyectos (10).



3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del estudio

El trabajo se realizó en la terraza del edificio de laboratorios de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicado en la Ciudad Universitaria, municipio de San Salvador, durante los meses de noviembre y diciembre de 1991 y enero de 1992. Dicho lugar está ubicado a una altitud de 710 msnm; las coordenadas geográficas son : 13°44' latitud norte y 89°13' longitud oeste.

3.2. Condiciones climáticas

Las características climáticas del lugar fueron obtenidas de los datos recabados de la Estación Meteorológica de la Universidad de El Salvador, ubicada a unos 200 metros del sitio donde se montaron los módulos experimentales. Se colectaron los datos mensuales de interés, los cuales son: radiación solar, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa (Cuadro 8). Estos datos fueron procesados a fin de determinar las necesidades hídricas de la planta indicadora.

3.3. Preparación de módulos



3.3.1. Construcción

Se construyeron camas de siembra de 1.0 m de ancho por

2

4.0 m de largo, en cada metro cuadrado se colocó una divi
sión, que permitió la ubicación y separación de los dife-
rentes tratamientos, a fin de evitar cualquier tipo de in-
tercambio entre ellos. El material de construcción fue ma
dera de pino; la profundidad del módulo fue de 12 cm, con
una altura sobre el nivel del suelo de 0.4 m. La conside-
ración de todas estas características permiten dar un ma
nejo adecuado al ensayo. En la Figura 2 se puede observar
el módulo hidropónico tipo.

3.3.2. Plastificado

El plastificado consistió en forrar los módulos con -
plástico negro calibre 200; el cual actuó como una barrera evitando
que el fertilizantes se lixivie en forma rápida, además ayu-
da a retener por mucho más tiempo el agua de riego y crear
un ambiente similar al suelo.

3.4. Selección y preparación del sustrato o medio de culti- vo.

Para, la selección de los sustratos se consideró las
características que estos materiales deben cumplir dentro -
del marco de la filosofía de la hidroponía. Por lo que que
los sustratos seleccionados para este estudio fueron: La es

coria volcánica roja, la granza de arroz y una mezcla de -
ambas en una relación de 50% escoria y 50% granza.

3.4.1. Escoria volcánica

La escoria volcánica se obtuvo de la cantera ubicada en el Cerro El Cerrito, jurisdicción de Quezaltepeque, Departamento de San Salvador.

3.4.1.1. Tamizado

El tamizado se realizó con el propósito de homogenizar el tamaño de las partículas, a fin de aumentar el área de la superficie de contacto. De esta manera se logró una mayor retención de humedad y nutrimentos. El tamiz utilizado fue una malla de 6 mm de diámetro.

3.4.1.2. Lavado

El lavado consistió en aplicar agua a la escoria volcánica utilizando aproximadamente 0.10 m^3 por m^2 , con el objeto de eliminar las impurezas que pudieran tener.

3.4.2. Granza de arroz

La granza de arroz se obtuvo del molino ubicado en las cercanías de la Terminal de Oriente en San Salvador. Posteriormente se procedió a darle tratamiento para su respectiva utilización.

3.4.2.1. Fermentación

La fermentación consistió en colocar la granza en un medio completamente húmedo, para lo cual se utilizó los módulos experimentales. El material no fue cubierto con plástico, ya que la granza se removía cada dos días y las aplicaciones de agua se efectuaron diariamente. El plástico negro que cubrió los módulos, no fue perforado a fin de mantener la granza totalmente inmersa en agua. El período de fermentación a que se sometió el material fue de 15 días, con el objeto de eliminar los granos de arroz que estuvieran presentes, que liberan alcoholes tóxicos para las plantas. Al material se le hizo un lavado igual al aplicado a la escoria.

3.4.2.2. Ceniza de granza

La ceniza de granza se obtuvo a través de CONARA, con procedencia del Molino San Francisco. ubicado en Rosario de La Paz, Departamento de La Paz.

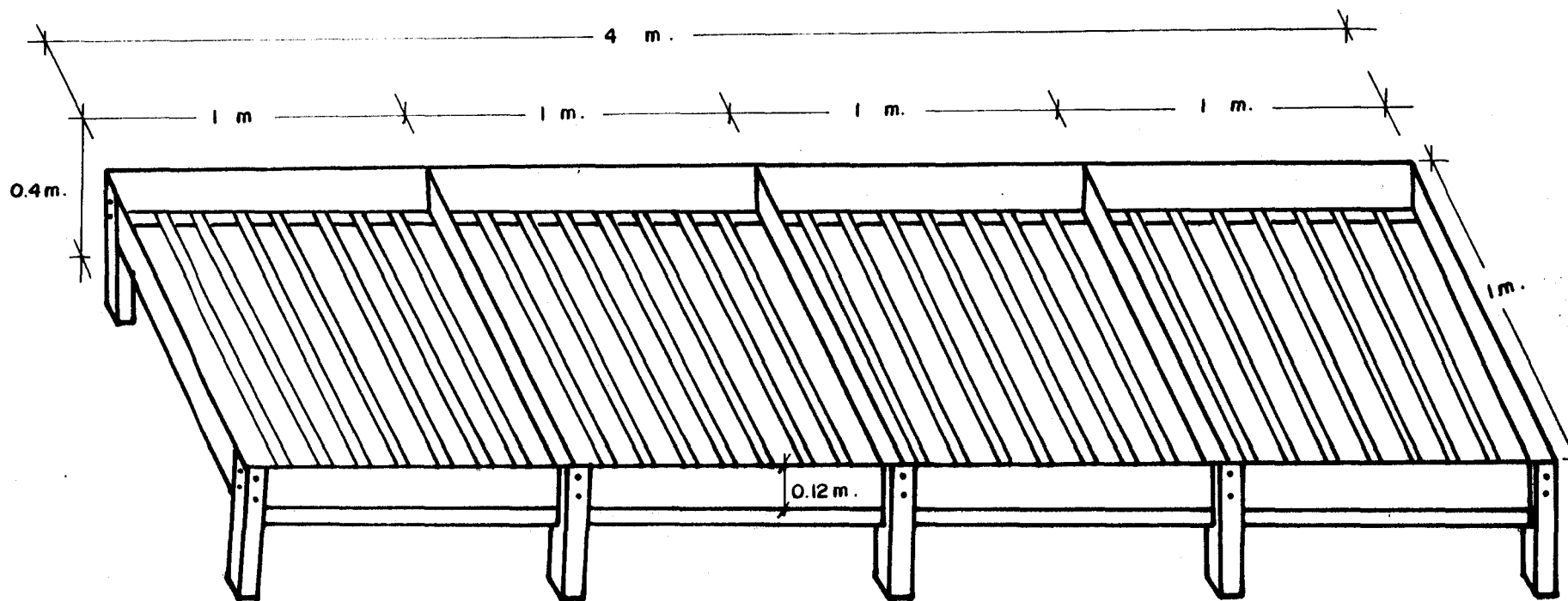


Fig. 1 - Módulo hidropónico tipo
Dimensiones : 1 x 4 x 0.12 m.
Escala : 1 : 20

3.4.2.3. Mezcla de la granza de arroz con ceniza de granza.

Para que la granza de arroz sea utilizada como sustrato, esta debe mezclarse con ceniza de la misma, cuya proporción de mezcla puede variar según el cultivo; para este caso se utilizó en proporción de tres partes de granza por una de ceniza (3:1), con el objeto de mejorar la estructura física del sustrato para un mejor desarrollo del cultivo.

3.4.3. Sustrato: Mezcla escoria volcánica y granza de arroz

Para conformar un tercer sustrato se efectuó la mezcla en una proporción de 50% de escoria volcánica roja y 50% de granza de arroz. Ambos materiales a utilizar fueron tomados de los preparados antes mencionados. Se mezclaron hasta homogenizar el sustrato.

3.5. Colocación de los sustratos en los módulos

La escoria volcánica, la granza de arroz y la mezcla se depositaron en sus respectivos módulos experimentales, distribuidos uniformemente. La escoria volcánica se depositó en dos capas, la de abajo conteniendo partículas mayores de 6 mm de diámetro ubicadas en los primeros 5 cm y la capa

de arriba con el material tamizado con partículas de 6 mm de diámetro en los 7 cm restantes, esto con el fin de mejorar el drenaje y la aireación de las raíces del cultivo.

La granza de arroz se depositó de tal forma que se cubrió totalmente la cama de siembra de 12 cm de altura.

Para la mezcla de escoria volcánica y granza de arroz, se depositó en dos capas, los primeros 5 cm con escoria gruesa de partículas mayores a 6 mm, y los 7 cm restantes con la mezcla distribuida uniformemente.

3.6. Desinfección de los sustratos

(5)

Para la desinfección de los sustratos se utilizó formalina al 1%, aplicando cinco litros por metro cuadrado con regaderas manuales. Posteriormente se cubrieron los módulos con plástico transparente para evitar que los vapores de la formalina se liberaran, a la vez se logró un aumento en la temperatura interna, con lo que se logró una mejor desinfección. Se mantuvieron cubiertos cinco días y luego se retiró el plástico. Se dejó cuatro días más en reposo antes de la siembra para que el olor a formalina se liberara.

3.7. Prácticas de manejo del cultivo

3.7.1. Siembra de remolacha

La siembra se efectuó en forma directa, con un distan

ciamiento entre surco de 16 cm y entre planta de 5 cm, dejando un margen de 8 cm en cada extremo de los módulos, - siendo un total de 6 surcos por metro cuadrado. La profundidad a que fue colocada la semilla fue de 5 mm. Así mismo en el fondo del surco se incorporó la primera fertilización utilizando Blauckor comúnmente llamado abono azul, en dosis de 7 gr/surco.

3.7.2. Raleo y transplante

Se efectuó el correspondiente releo dejando un distanciamiento entre planta de 10 cm.

El trasplante fue necesario debido a que la germinación no fue uniforme, dejando el correspondiente distanciamiento antes mencionado.

Para escoria y mezcla estas actividades se realizaron a los 14 días de la siembra, y para granza a los 20 días después de la siembra.

3.7.3. Aporco

Se hizo a los 15 días después de la siembra que coincidió con la segunda fertilización. Un segundo aporco se -

realizó a los 30 días, en el cual se incorporó más material a los módulos a fin de cubrir los 12 cm de altura.

3.7.4. Escardado

Los escardados se realizaron cada cinco días, con el objetivo de proporcionarle un mayor contenido de aire a las raíces, evitar la compactación y el exceso de humedad cerca de las plantas, con lo que se redujo el riesgo de incidencia de enfermedades. También la remoción del sustrato ayudó a alterar el desarrollo del ciclo biológico de insectos que se encuentran dentro de los sustratos.

3.7.5. Control de plagas y enfermedades

Con el objeto de detectar la presencia de plagas y enfermedades se hicieron observaciones periódicas generales, lo que permitió un control efectivo de las mismas. Contra las plagas se utilizaron extractos botánicos, como: Te de ajo y te de cebolla; además se hizo uso de solución jabonosa para el control de áfidos. Las aplicaciones de estos extractos se hicieron cada tres días. La preparación de los extractos botánicos se presentan en el Cuadro 6.

Para el control de enfermedades se aplicó Benlate + Ridomil en dosis de 90 ppm, estas aplicaciones se realizaron cada ocho días durante el primer mes de crecimiento del cultivo. Además se trató de evitar heridas y otros daños que

pu \dot{d} ieran permitir la entrada de pat \acute{o} genos.

3.7.6. Fertilizaci \acute{o} n

Se elabor \acute{o} un programa de fertilizaci \acute{o} n basado en ex-
periencias recabadas en el Departamento de Fitotecnia de -
la Facultad de Ciencias Agron \acute{o} micas de la Universidad de -
El Salvador. El programa est \acute{a} comprendido por fertilizan-
tes s \acute{o} lidos y l \acute{i} quidos, adem \acute{a} s de otros compuestos que con-
tribuyeron al buen desarrollo del cultivo. Los fertilizan-
tes s \acute{o} lidos utilizados fueron Blaukor, com \acute{u} nmente llamado
abono azul y Nitromac calc \acute{a} reo, com \acute{u} nmente llamado abono
blanco. Dentro de los fertilizantes l \acute{i} quidos se hizo uso
de Bayfolan y del complejo foliar N-P-K, los otros compues-
tos utilizados fueron: Cloruro de sodio (sal com \acute{u} n) y \acute{a} cido
b \acute{o} rico. El programa de fertilizaci \acute{o} n se describe en el Cua-
dro 7.

3.7.7. Cosecha

Esta se efectu \acute{o} a los sesenta y cuatro d \acute{i} as y se hi-
cieron las respectivas mediciones para aplicar el correspon-
diente an \acute{a} lisis estad \acute{i} stico.

3.8. Metodología para el cálculo de láminas e intervalos de riego

Para la elaboración del programa de riego se realizó una serie de pasos, que comprendió lo siguiente: Recabación de información climática; pruebas de laboratorio; determinación de la capacidad hídrica de los sustratos; determinación de las necesidades hídricas del cultivo; determinación del coeficiente de cultivo; determinación de la evapotranspiración del cultivo; cálculo de láminas de riego e intervalo de riego; cálculo de láminas aplicadas a partir de la ETC; intervalo de riego utilizado; y forma de aplicación del riego.

3,8.1. Recabación de información climática

Esta información se obtuvo de la Estación Meteorológica del Instituto Técnico de Investigaciones Científicas -- (ITIC), ubicada dentro de la Universidad de El Salvador. -- La información corresponde a datos mensuales del período en el cual se desarrolló el cultivo. En el Cuadro 8, se detalla los datos climatológicos correspondientes.

9

Cuadro 6. Preparación de extractos de ajo y cebolla, y solución jabonosa, para el control de plagas.

Materiales		PROCEDIMIENTO
Te de ajo	<ul style="list-style-type: none">- 30 cc de aceite mineral- 2 cabezas grandes de ajo.	Se maceraron las 2 cabezas de ajo y se agrega los 30 cc de aceite mineral, se deja reposar por 24 horas, se cue <u>la</u> y se afora con agua hasta 250 cc.
Te de cebolla	<ul style="list-style-type: none">- 30 cc de aceite mineral- 2 cabezas medianas de cebolla	Se maceran las 2 cabezas de cebolla y se agrega los 30 cc de aceite mineral, se deja re <u>posar</u> por 24 horas, se <u>cu</u> ela y se afora con agua hasta 250 cc.
Solución jabonosa	<ul style="list-style-type: none">- 5 gramos de jabón Victoria o Rey- 1 galón de agua.	Los 5 gramos de jabón Victoria o Rey se diluyen en un galón de agua hasta conseguir una solución jabonosa.

10

Cuadro 7. Programa de fertilización a base de fertilizantes sólidos y líquidos, usando como sustratos es coria volcánica, granza de arroz y una mezcla de ambas, para el cultivo de remolacha.

FERTILIZANTE	PROGRAMACION
Abono azul o Blaukor	Aplicaciones de 37 gr/surco fraccionadas en 7 dosis, de la siguiente manera: 7 gr/surco a la siembra, a los 15 días, 22 días y 29 días después de la siembra; y 3 gr/surco a los 36 días, 43 días y 50 días después de la siembra.
Abono blanco o Nitro <u>mac</u> Calcáreo	Aplicaciones de 9 gr/surco fraccionadas en 3 dosis de 3 gr/surco a los 36 días, 43 días y 50 días después de la siembra.
Bayfolan	Aplicaciones foliares de la siguiente manera: 5 cc/lt a los 7 días después de siembra, 10 cc/lt a los 18 días después de siembra, 15 cc/lt a los 25, 32, 39, 46 y 53 días después de la siembra.
Complejo foliar N - P - K.	Dos aplicaciones foliares en dosis de 5 cc/lt a los 39 y 46 días después de la siembra.
Acido bórico 0.01%	Aplicaciones foliares a los 18 días, 32 días y 53 días después de la siembra en dosis de 0.5 cc/lt, 1 cc/lt y 2 cc/lt, respectivamente.
Cloruro de sodio	Aplicaciones foliares a los 53 días y 60 días después de la siembra, en dosis de 1 gr de NaCl por litro de agua.

3.8.2. Pruebas de laboratorio

3.8.2.1. Determinación de la gravedad específica aparente (GEA) de los sustratos

La gravedad específica aparente es el resultado del cociente entre la densidad aparente del sustrato y la densidad del agua. La GEA es un valor que se utiliza para el cálculo de láminas de riego.

Para el cálculo de GEA se utilizó muestras de los sustratos ya tratados a fin de que el dato obtenido fuera lo más apegado a las condiciones reales del ensayo. Se hizo uso del siguiente material : bandeja metálica, 4 cajas metálicas, estufa, desecador y balanza semi-analítica.

Inicialmente se determinó la capacidad volumétrica de las cajas metálicas en base a sus dimensiones, haciendo uso de la fórmula : $V = \frac{\pi D^2 h}{4}$;

Donde : V = volumen de la caja metálica

D = Diámetro de la caja

h = Altura.

Cuadro 8. Datos climatológicos promedios mensuales correspondientes a los meses de noviembre, diciembre de 1991 a enero de 1992.

ELEMENTO	M E S E S			
	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	PROMEDIO
RMM (mm/día)	12.84	12.02	12.4	12.92
T °C	24.0	24.0	24.4	24.13
V (m/S)	2.58	2.89	3.2	2.89
HR \bar{x} (%)	70	65	65	66.66
HR mín (%)	28	20	34	27.33

Fuente : Estación Meteorológica ITIC, Universidad de El Salvador, 1991

RMM : Radiación media mensual (mm/día)

T °C : Temperatura expresada en grados centígrados

V (m/S): Velocidad del viento en metros por segundo.

HR \bar{x} (%): Humedad relativa promedio en porcentaje.

HR mín (%): Humedad relativa mínima en porcentaje.

Se pesaron las cajas vacías en la balanza semianalítica, luego se procedió a llenarlas con los respectivos sustratos y se pesaron para determinar así el peso húmedo de las muestras (Phm). Ya pesadas se introdujeron a la estufa a 100 °C por un período de 24 horas. Luego se sacaron de la estufa y por una hora se colocaron en el desecador. Posteriormente se pesaron para obtener el peso seco de las muestras de los

sustratos (psm). En el Cuadro 9 se presentan los resultados de GEA.

Cuadro 9. Determinación de la gravedad específica aparente para los sustratos escoria fina (<6 mm), escoria gruesa (>6 mm), granza de arroz y mezcla.

SUSTRATOS	Peso caja Met. (gr)	Volumen Caja (cc)	PSM (gr)	MSS (gr)	ρ_t (gr/cc)	GEA
Escoria fina	18.9	131.3	159.7	140.8	1.07	1.07
Escoria gruesa	18.8	128.6	154.8	136.0	1.06	1.06
Granza de arroz	18.8	125.7	42.4	23.6	0.19	0.19
Mezcla	18.8	125.7	107.0	88.2	0.7	0.7

Fórmulas :

MSS = Psm - Peso caja metálica vacía

Donde : MSS : Peso de sustrato seco

Psm : Peso seco de la muestra incluyendo peso de caja metálica.

$$b) \rho_t = \frac{MSS}{V}$$

Donde : ρ_t = Densidad aparente del sustrato (gr/cc)

V = Volumen de la muestra del sustrato (cc)

$$c) GEA = \frac{\rho_t}{\rho_a}$$

Donde : GEA : Gravedad específica aparente

ρ_a : Densidad del agua (1 gr/cc).

3.8.2.2. Calidad del agua

Para la determinación de la calidad del agua se obtuvo su dureza y pH para lo cual se hizo un análisis del contenido de calcio y magnesio por valoración, reportando 2.5 ppm de calcio y 2.05 ppm de magnesio, por lo que puede considerarse como una agua blanda, según Richards (26); el agua es blanda si ésta contiene de 0-75 ppm de Mg + Ca.

El pH obtenido fue de 6.2, valor que es adecuado para el cultivo de remolacha.

3.8.3. Determinación de la capacidad hídrica de los sustratos.

Consiste en la determinación de la capacidad de almacenaje de agua de los sustratos, para lo cual se hizo uso de ollas de presión, con las cuales se determinó la presión a la que el agua está retenida, lo que equivale a la succión que las plantas tienen que ejercer para extraer el agua. Los contenidos de humedad determinados son: Capacidad de campo y punto permanente de marchitez. Los datos obtenidos se utilizaron para la determinación de láminas de riego que varían según las características físicas de los sustratos. En el Cuadro 10 se presentan los contenidos de humedad de los sustratos.

Cuadro 10. Contenido de humedad a capacidad de campo y punto permanente de marchitez en los sustratos escoria volcánica fina y gruesa, granza de arroz y mezcla.

S U S T R A T O	CONTENIDO DE HUMEDAD (θ_w) %	
	Capacidad de campo	Punto permanente de marchitez
Escoria fina	9.8	5.66
Escoria gruesa	8.0	5.2
Granza	61.6	45.7
Mezcla	15.3	10.45

Fórmula :

$$\theta_w(\%) : \frac{Msh - MSS}{MSS} \times 100$$

Donde : θ_w (%) = Humedad gravimétrica expresada en porcentaje.

Msh = Peso sustrato húmedo (gr)

MSS = Peso sustrato seco (gr)

3.8.4. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo se utilizó el método del Doctor George Hargreaves, en el que involucra elementos climáticos que se obtuvieron de la -

estación meteorológica antes mencionada.. Por medio de este método se obtuvo la evapotranspiración potencial (ETP), que multiplicado por el coeficiente de cultivo (Kc), se obtiene la necesidad hídrica de las plantas expresado como la evapotranspiración del cultivo (ETc). La ETc se calculó por mes y fase vegetativa. Para la obtención de los valores de Kc correspondiente se tomaron del manual de la FAO No. 24 (10), presentados en la Figura 2 y el Cuadro 12.

Haciendo uso de los datos del Cuadro 8, que se refieren a datos climáticos predominantes de la zona del ensayo, se calculó la ETP para los meses de interés, de la siguiente manera :

Fórmulas utilizadas :

$$* S = 12.5 \sqrt{100 - HR\%}$$

Donde : S = Relación de insolación que expresa la relación entre la duración real y teórica del día, calculada a través de la humedad relativa, expresada en porcentaje.

HR% = Humedad relativa media expresada en porcentaje.

$$* RSM = 0.075 RMM \times \sqrt{S}$$

Donde : RSM = Radiación solar incidente media (mm/día)

RMM = Radiación media mensual (mm/día)

S = Relación de insolación.

$$* ETP = RSM (0.0135 \times T \text{ } ^\circ\text{C} + 0.24).$$

Donde : ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día)

T °C = Temperatura media en grados centígrados.

En el Cuadro 11, se presenta los resultados de ETP utilizando las fórmulas ya presentadas.

Cuadro 11. Valores de evapotranspiración (ETP) calculados por el método de Hargreaves para los meses de - noviembre y diciembre (1991), enero (1992).

M E S	S (%)	RSM (mm/día)	ETP (mm/día)
- Noviembre (1991)	68.5	7.97	4.50
- Diciembre (1991)	73.95	7.75	4.40
- Enero (1992)	73.95	8.00	4.56

3.8.5. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) se determinó según las fase vegetativas de la remolacha, que comprende: inicio, - desarrollo, mediados y recolección. Además de las fases, el coeficiente varía en función de la humedad y el viento. A continuación se presenta los pasos seguidos para determinar el Kc.

- Fase inicial : Este se determinó utilizando el gráfico ETo versus Kc comprendido en la Figura 2. Se consideró la curva con menor frecuencia de riego. Se obtuvo un Kc inicial = 0.90.

- Fase mediado y recolección :

Estos valores obtenidos del Cuadro 12, donde se determinó según la humedad relativa y la velocidad del viento. Los valores son: Kc fase mediado 1.05 y Kc fase recolección 0.95.

3.8.6. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Para ello inicialmente se estableció la fecha de siembra, la cual fue el 27 de noviembre de 1991 y también los períodos según las fases de desarrollo del cultivo, de la siguiente manera :

- Duración del cultivo	:	64 días
- Fecha de siembra	:	27-11-91
- Períodos por fases de desarrollo	:	13/21/17/13.

Cronología :

Fi	=	3 días Nov. + 10 días Dic.	=	13 días
FD	=	21 días Dic.	=	21
FM	=	17 días Ene.	=	17
FF	=	13 días Ene.	=	13
			=	<u>64 días</u>

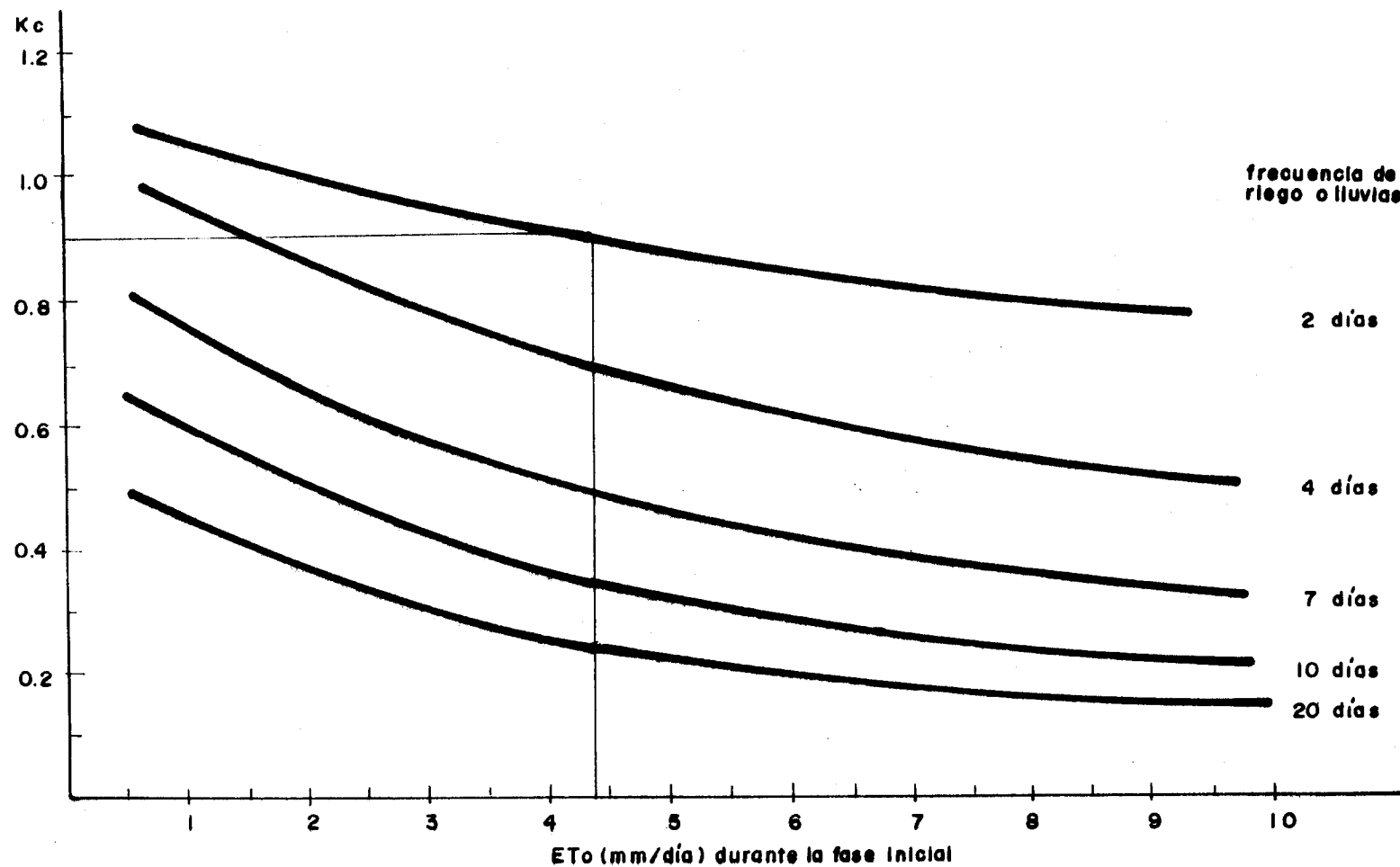


Fig. 2 — k_c media en la fase inicial, en función del nivel medio de la E_{To} (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables.

Fuente : Doorenbos, J. Las necesidades de agua de los cultivos, 1976. (9)

Cuadro 12. Coeficientes de cultivo Kc correspondientes a cultivos extensivos y de hortalizas en diferentes fases de su crecimiento y según las condiciones climáticas predominantes.

	Humedad		RH mín > 70%		RH Mín < 20%	
	Viento (m/seg)		0-5	5-8	0-5	5-8
	<u>Fase de desarrollo</u>					
Todos los cultivos extensivos	Inicial	1	Utilícese la Fig. No. 8 por interpolación.			
	De desarrollo del cultivo	2				
Alcachofas (Perennes, cultivadas limpias)	mediados	3	0.95	0.95	1.0	1.05
	recolección	4	0.9	0.9	0.95	1.0
Cebada		3	1.5	1.1	1.15	1.2
		4	0.25	0.25	0.2	0.2
Frijoles verdes		3	0.95	0.95	1.0	1.05
		4	0.85	0.85	0.9	0.9
Frijoles secos Leguminosas		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.3	0.3	0.25	0.25
Remolachas (de mesa)		3	1.0	1.0	1.05	1.1
		4	0.9	0.9	0.95	1.0
Zanahorias		3	1.0	1.05	1.1	1.12
		4	0.7	0.75	0.8	0.85
Ricino		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.5	0.5	0.5	0.5
Apio		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	0.9	0.95	1.0	1.05

Fuente : DOOREMBOOS, J. Las necesidades de agua de los cultivos. 1976 (10).

3.8.6.1. Cálculo de ETC mensual.

Para el cálculo del Kc por mes, se construyó el gráfico utilizando los Kc obtenidos del manual de la FAO correspondientes a las fases de inicio, mediados y recolección (Fig. 3). En el Cuadro 13 se presentan los datos obtenidos de ETC (mm/día) mensual.

- Cálculo de Kc mensual considerando gráfico (Fig. 3).

Nov. : 0.89

Dic. : 1 - 0.898

10 - 0.908

20 - 0.963

31 - 1.050

3.819 ÷ 4 = 0.9548

= 0.9550

Ene. : 1 - 1.05

4 - 1.055

14 - 1.053

24 - 1.000

31 - 0.950

5.108 ÷ 5 = 1.0216

= 1.022

3.8.6.2. Cálculo de ETC de acuerdo a las fases fenológicas

Para el cálculo de Kc por fases fenológicas se utilizó el gráfico presentado en la Fig. 3. En el Cuadro 13 se presenta los datos obtenidos de ETC (mm/día) por fase fenológica.

- Cálculo de Kc por fase fenológica

Fase inicial :

ETp

$$\text{Nov.} = 4.50 \times 3 = 13.50$$

$$\text{Dic.} = 4.40 \times 10 = \underline{44.00}$$

$$57.50 \div 13 = 4.42 \text{ mm/día}$$

Kc (ver Fig. 3) : tomando 3 valores de Kc correspondientes a esta fase.

0.89 - Valor inicial

0.893 - Valor medio

0.908 - Valor final

$$\underline{2.691} \div 3 = 0.8970$$

$$= 0.897$$

Fase desarrollo :

$$\text{ETp} = 4.40 \text{ mm/día}$$

Kc (ver Fig. 3) : 0.908 - Valor inicial

0.925 - Valor medio

1.050 - Valor final

$$\underline{2.933} \div 3 = 0.9777$$

$$0.98$$

Fase mediados :

$$ETp = 4.56 \text{ (mm/día)}$$

$$\begin{aligned} Kc \text{ (ver Fig. 3) : } & 1.05 - \text{Valor inicial} \\ & 1.055 - \text{Valor intermedio} \\ & \underline{1.05} - \text{Valor final} \\ & 3.155 \div 3 = 1.0517 \\ & = 1.05 \end{aligned}$$

Fase recolección :

$$ETp = 4.56 \text{ (mm/día)}$$

$$\begin{aligned} Kc \text{ (ver Fig. 3) : } & 1.05 - \text{Valor inicial} \\ & 1.00 - \text{Valor intermedio} \\ & \underline{0.95} - \text{Valor final} \\ & 3.00 \div 3 = 1.0 \end{aligned}$$

Comprobación

a) Con valores de ETC mensual

$$\begin{aligned} & 4.00 \times 3 \text{ días} \\ & 4.22 \times 31 \text{ días} \\ & \underline{4.65 \times 30 \text{ días}} \end{aligned}$$

282.32 mm en el ciclo.

b) Con valores de ETC por fases

$$\begin{aligned} & 3.96 \times 13 \text{ días} \\ & 4.31 \times 21 \text{ días} \\ & 4.79 \times 17 \text{ días} \\ & \underline{4.56 \times 13 \text{ días}} \end{aligned}$$

282.70 mm en el ciclo

- Se puede observar que los valores de ETC por mes y fase -
son aproximadamente iguales.

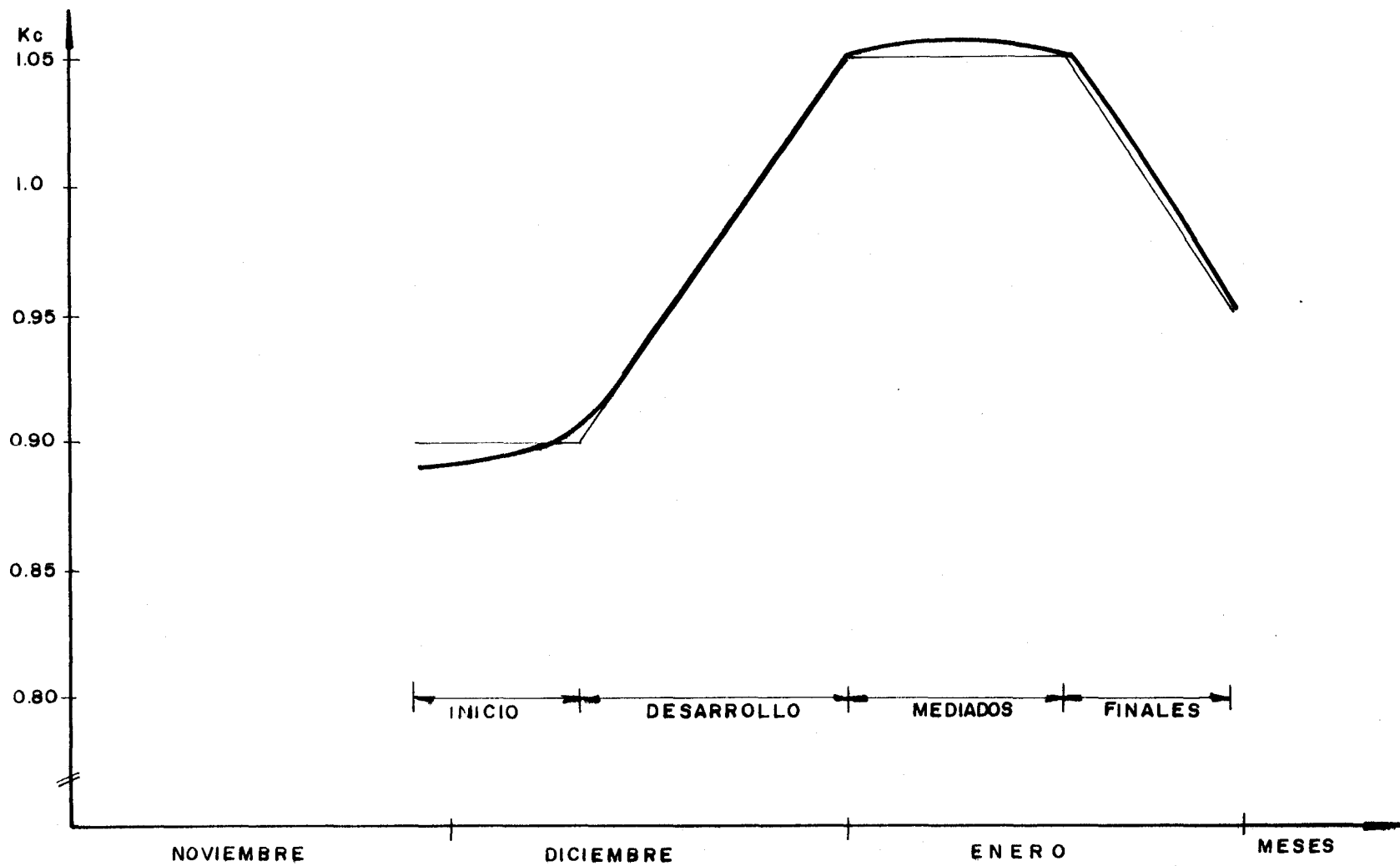


Fig. 3 - Gráfico de determinación de K_c para meses y fases del cultivo de remolacha de mesa.

Cuadro 13. Valores de evapotranspiración de cultivo (ETc) para los meses de noviembre y diciembre de 1991, y enero de 1992; y por fase fenológica para el cultivo de remolacha de mesa.

MES	ETP (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)
Nov.	4.50	0.89	4.00
Dic.	4.40	0.96	4.22
Ene.	4.56	1.02	4.65

FASES	ETP (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)
Inicio	4.42	0.897	3.96
Desarrollo	4.40	0.98	4.31
Mediado	4.56	1.05	4.79
Recolección	4.56	1.00	4.56

3.8.7. Cálculo de láminas de riego e intervalo de riego

Inicialmente se consideró que los cálculos a presentar acerca de láminas de aplicación sería funcional; pero no lo fue así, por lo que se desarrolló el cálculo correspondiente a fin de demostrar la calidad del caso. La lámina y el intervalo de riego desde el punto de vista manejo no era posible, considerando la forma manual de aplicación del agua. -- Pero dentro del concepto de hidroponía estos cálculos podrían ser de mucha utilidad si se sistematizara la aplicación del agua de riego, por lo que son de mucha importancia. Final-

3.8.7.1. Cálculo lámina de reposición

La lámina de reposición no es más que la lámina máxima multiplicada por un porcentaje de agotamiento del agua en el sustrato estimado en un 50%. Su fórmula correspondiente es :

$$dr = d \times P$$

Donde : dr = Lámina de reposición

d = Lámina máxima

P = Porcentaje de agotamiento

$$dr \text{ granza} = 3.63 \text{ mm} \times 0.5$$

$$= 1.82 \text{ mm}$$

$$dr \text{ escoria} = 4.58 \text{ mm} \times 0.5$$

$$= 2.29 \text{ mm}$$

$$dr \text{ mezcla} = 3.85 \text{ mm} \times 0.5$$

$$= 1.93 \text{ mm}$$

3.8.7.2. Intervalo de riego

Para el cálculo del intervalo de riego se utilizó los valores de ET_c por período vegetativo. En el Cuadro 4 se presenta un resumen que comprende láminas e intervalos de riego. La fórmula para calcular intervalo de riego es :

$$Ir = \frac{dr}{ET_c} \times 24$$

Donde : Ir = Intervalo de riego (horas)

dr = Lámina de reposición (mm)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

mente la lámina utilizada se obtuvo a partir de la ETC

$$\text{Fórmula : } d = \frac{(\theta_{cc} - \text{ppm})}{100} \text{ GEA} \times D$$

Donde : d = Lámina máxima de riego en mm.

θ_{cc} = Contenido de humedad del sustrato a capacidad de campo (%).

ppm = Contenido de humedad del sustrato a punto permanente de marchitez (%).

D = Profundidad de la cama de siembra (mm).

GEA = Densidad aparente del sustrato.

Los valores de θ_{cc} y PPM tomados del Cuadro 10, y los valores de GEA tomados del Cuadro 9, a continuación se presenta los valores de lámina obtenidos: escoria volcánica :

50 mm, escoria gruesa - $d_{max} = 1.48$ mm

70 mm escoria fina - $d_{max} = 3.10$ mm

$$d = \underline{4.58} \text{ mm}$$

$$\text{Escoria gruesa : } \frac{(8.0 \times 5.2) \times 1.06 \times 50}{100} = 1.48 \text{ mm}$$

$$\text{Escoria fina : } \frac{(9.8 - 5.66) \times 1.07 \times 70}{100} = 3.1 \text{ mm}$$

Granza de arroz 100% (3:1) : 120 mm - $d_{max} = 3.63$ mm.

50% granza + 50% escoria : 50 mm escoria gruesa - $d_{max} = 1.48$ mm

$$70 \text{ mm escoria fina + granza } d_{max} = \underline{3.38} \text{ mm}$$

$$d = \underline{3.86} \text{ mm}$$

Cuadro 14. Determinación de láminas e intervalos de riego para remolacha de mesa utilizando como sustratos escoria volcánica, granza de arroz y mezcla.

Sustrato	Lámina Máxima mm/12 cm	Lámina de Re- posic. mm	Intervalo de riego (horas)			
			Inicia- ción	Desarro- llo	Mediado	Recolec- ción
Escoria vol- cánica	4.58	2.29	13.88	12.75	11.47	12.05
Granza de arroz	3.63	1.82	11.03	10.13	9.12	9.57
Mezcla	3.85	1.93	11.70	10.75	9.67	10.15

Los intervalos calculados obligarían a aplicar riegos nocturnos lo que imposibilitaría desde el punto de vista manejo las aplicaciones de agua al cultivo; sin embargo, si se contara con un pequeño sistema de riego se podría experimentar con los datos obtenidos. Esto originó el cálculo de nuevas láminas tomando como base la necesidad hídrica del cultivo, ó sea la evapotranspiración (ETc).

3.8.8. Cálculo de láminas aplicadas calculadas a partir de ETc

Las láminas utilizadas fueron calculadas a partir de los valores de ETc comprendidos en el Cuadro 13. Se consideró que las condiciones de donde se montó el ensayo son totalmen

te diferentes a las condiciones climáticas de la estación, de donde se obtuvieron los datos, por lo que se modificó - la ETC en ciertos porcentajes, considerando de tal forma los siguientes aspectos. La loza de la terraza actúa como una zona de secano y los módulos cultivados como un oasis, dicho fenómeno debido a las condiciones climáticas in situ, siendo las altas temperaturas y la refracción de los rayos solares en forma de onda larga originaron las condiciones de oasis. El otro aspecto a considerar son los sustratos, en el sentido de que los colores propios de cada uno absorben en forma diferente la cantidad de calor, de acuerdo al color oscuro o claro del material. Ambos aspectos considerados para retomar lo dicho por Doorenbos (10) en cuanto al fenómeno de oasis. De tal forma que se incrementó en un 5% a la mezcla, un 10% a la escoria y para la granza la ETC no se le aplicó el factor de oasis.

Las láminas se calcularon por fase vegetativa del cultivo a fin de precisar en la cantidad de agua a utilizar. En el Cuadro 15 se presenta un resumen de la determinación de las láminas de riego.

3.8.9. Intervalo de riego utilizado

Las aplicaciones de agua al cultivo se efectuaron diariamente durante todo el ciclo de vida de la planta, fraccionando el volumen para tres riegos por día, un 40% a las

siete de la mañana, otro 40% a las once de la mañana y un 20% a las cuatro de la tarde. El objetivo de estas horas es para evitar el menor stress a las plantas y suplir las necesidades hídricas a las horas más críticas donde se acentúa más la evapotranspiración.

Cuadro 15. Determinación de láminas de riego, calculadas a partir de la ETC de remolacha de mesa, utilizando como sustratos escoria volcánica, granza de arroz y mezcla.

Sustratos	Fase vegetativa	ETC remolacha (mm/día)	Factor Oasis	ETC ajustada o Lámina (d_r)
Escoria volcánica	Inicio	3.96	10%	4.36
	Desarrollo	4.31		4.71
	Mediado	4.79		5.27
	Recolección	4.56		5.02
Granza de arroz	Inicio	3.96	0%	3.96
	Desarrollo	4.51		4.31
	Mediado	4.79		4.79
	Recolección	4.56		4.56
Mezcla	Inicio	3.96	5%	4.16
	Desarrollo	4.31		4.53
	Mediado	4.79		5.03
	Recolección	4.56		4.79

3.8.10. Forma de aplicación del riego

La lámina de riego multiplicada por el área de cada ca

jón hidropónico genera el volumen que en litros es el mismo valor de la lámina. Ese volumen calculado y el resto de tratamientos se aplicaron en forma manual con una regadera de metal que se graduó por el interior con el fin de medir la cantidad de agua correspondiente. En el Cuadro 16 se presenta los volúmenes según la fase y también el respectivo fraccionamiento.

3.9. Metodología estadística

3.9.1. Tratamientos

Los tratamientos en estudio se basaron en la utilización de cuatro láminas de riego aplicadas al cultivo hidropónico de remolacha, usando tres sustratos diferentes : escoria volcánica roja, granza de arroz y la mezcla de escoria volcánica con granza de arroz, por lo que láminas y sustratos son dos factores de variación. En el Cuadro 17 se describen las láminas y los sustratos utilizados y en el Cuadro 18, se describen los tratamientos.

3.9.2. Diseño experimental y estadístico

El diseño estadístico utilizado en el presente trabajo fue: parcelas divididas completamente al azar; ya que las condiciones en que se estableció el ensayo son homogéneas.

Cuadro 16. Volúmenes de agua aplicados de acuerdo a la fase vegetativa del cultivo en litros .

FASE DE INICIACION					FRACCIONAMIENTO												
SUSTRATO	d	d	d	d	d			d			d			d			
ESCORIA	4.36	6.54	2.18	5	1.7	1.7	0.96	2.6	2.6	1.34	0.8	0.8	0.58	2	2	1	
GRANZA	3.96	5.94	1.98	5	1.5	1.5	0.96	2.3	2.3	1.34	0.7	0.7	0.58	2	2	1	
MEZCLA	4.16	6.24	2.08	5	1.6	1.6	0.96	2.4	2.4	1.44	0.8	0.8	0.48	2	2	1	
FASE DE DESARROLLO					FRACCIONAMIENTO												
ESCORIA	4.74	7.11	2.37	5	1.8	1.8	1.14	2.8	2.8	1.51	0.9	0.9	0.57	2	2	1	
GRANZA	4.31	6.47	2.16	5	1.7	1.7	0.91	2.5	2.5	1.47	0.8	0.8	0.56	2	2	1	
MEZCLA	4.53	6.8	2.2	5	1.8	1.8	0.93	2.7	2.7	1.4	0.8	0.8	0.6	2	2	1	
FASE DE MEDIADO					FRACCIONAMIENTO												
ESCORIA	5.27	7.91	2.64	5	2.1	2.1	1.07	3.1	3.1	1.71	1	1	0.64	2	2	1	
GRANZA	4.79	7.19	2.40	5	1.9	1.9	0.99	2.8	2.8	1.59	0.9	0.9	0.6	2	2	1	
MEZCLA	5.03	7.55	2.52	5	2	2	1.03	3	3	1.55	1	1	0.52	2	2	1	
FASE DE RECOLECCION					FRACCIONAMIENTO												
ESCORIA	5.02	7.53	2.51	5	2.01	2.01	1.0	3.01	3.01	1.51	1.0	1.0	0.51	2	2	1	
GRANZA	4.56	6.84	2.28	5	1.82	1.82	0.92	2.74	2.74	1.36	0.91	0.91	0.46	2	2	1	
MEZCLA	4.79	7.18	2.40	5	1.92	1.92	0.95	2.87	2.87	1.44	0.96	0.96	0.48	2	2	1	

Donde :

d1 = Lámina calculada

d2 = 1.5 d1

d3 = 0.6 d1

d4 = 5 lt.

Cuadro 18. Descripción de tratamientos utilizados en la -
producción hidropónica de remolacha.

Tratamiento	Descripción
S ₁ d ₁	Escoria volcánica aplicando lámina de riego calculada.
S ₁ d ₂	Escoria volcánica aplicando lámina con 50 % más que lámina calculada.
S ₁ d ₃	Escoria volcánica aplicando lámina con 50% menos que lámina calculada.
S ₁ d ₄	Escoria volcánica aplicando lámina tes <u>t</u> igo.
S ₂ d ₁	Granza de arroz aplicando lámina de -- riego calculada.
S ₂ d ₂	Granza de arroz aplicando lámina con 50% más que lámina calculada.
S ₂ d ₃	Granza de arroz aplicando lámina con 50% menos que lámina calculada.
S ₂ d ₄	Granza de arroz aplicando lámina testi <u>g</u> o.
S ₃ d ₁	Mezcla escoria-granza aplicando lámina calculada.
S ₃ d ₂	Mezcla escoria-granza aplicando lámina con 50% más que lámina calculada.
S ₃ d ₃	Mezcla escoria-granza aplicando lámina con 50% menos que lámina calculada.
S ₃ d ₄	Mezcla escoria-granza aplicando lámina test <u>ig</u> o.

La distribución de los tratamientos en las unidades experimentales se trató de la misma forma, asegurándose que la variación que ocurriera en el experimento se debiera únicamente a los tratamientos en estudio, el medio ambiente que rodeó las unidades expeirmentales actuaron uniformemen-
te sobre todas ellas.

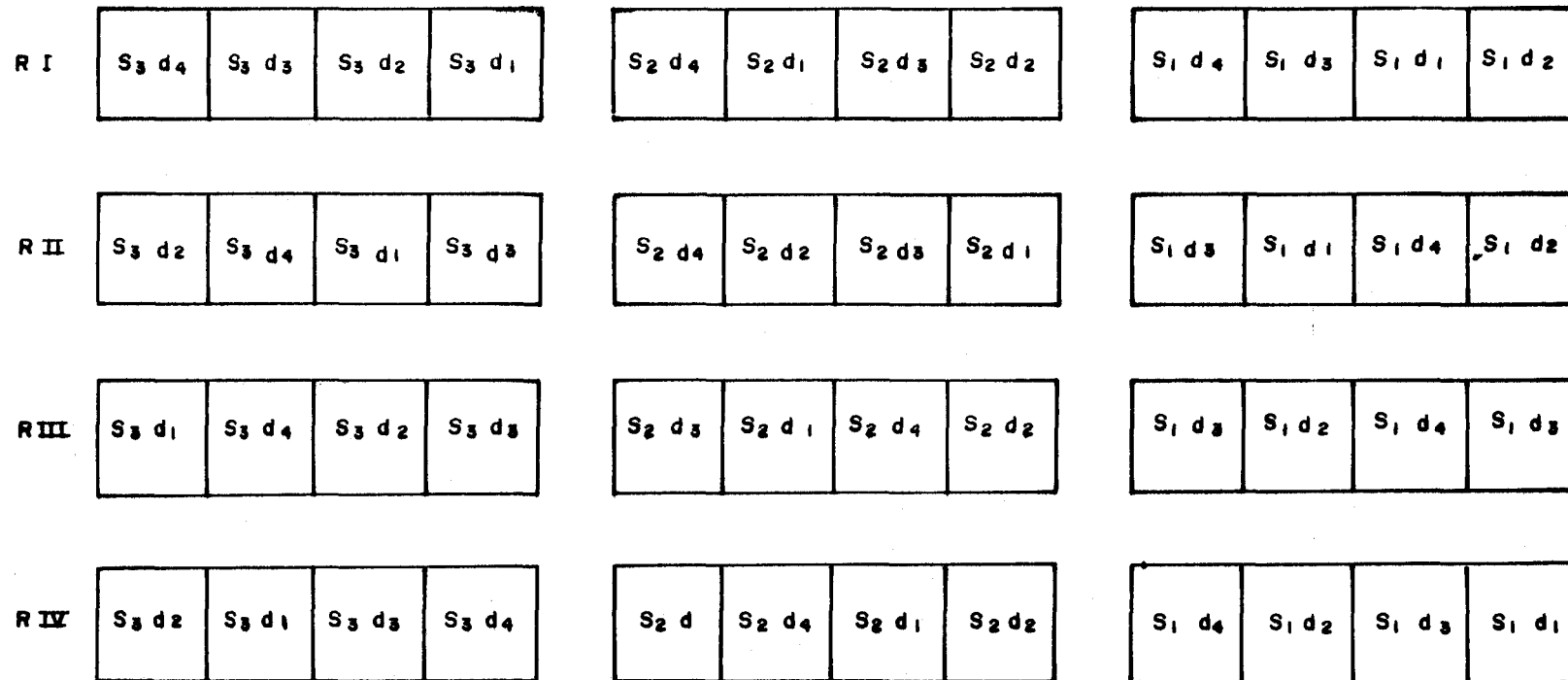
Se dispuso de 12 módulos de cuatro metros de largo por un metro de ancho y se dividió en cuatro compartimientos de un metro cuadrado cada uno, lo que representó la unidad experimental, teniendo un total de 48 parcelas pertenecientes a doce tratamientos y cuatro repeticiones. En la Figura 4, se presenta la disposición de los módulos y los tratamientos.

Para el estudio del efecto de los tratamientos y sus interacciones sobre las variables, se efectuó un análisis de varianza, prueba de Duncan, gráficas estadísticas y correlaciones.

El modelo estadístico aplicado fué el siguiente: Sea "Y" la variable a medir y Y_{ijk} la observación de la unidad experimental principal "j" en la repetición i. Luego, cualquier observación puede expresarse así :

$$Y_{ijk} = U + R_i + P_j + \frac{(R \times P)_{ij}}{a} + S_k + (P \times S)_{jk} +$$

$$\frac{(R \times S)_{ik} + (R \times P \times S)_{ijk}}{b}$$



SUSTRATOS :

- S₁ : escoria volcánica roja
- S₂ : granza de arroz (3 : 1)
- S₃ : mezcla escoria volcánica + granza de arroz

LAMINAS :

- d₁ : calculada a partir de ETC.
- d₂ : 1.5 d₁
- d₃ : 0.5 d₁
- d₄ : 5 lt/m / día (Testigo)

Fig. 4 - Plano de distribución de los tratamientos y repeticiones en los módulos hidropónicos.

Donde :

Y_{ijk} = Cualquier observación de la unidad experimental

U = Media experimental

R_i = Efecto de la i -ésima repetición

P_j = Efecto de la j -ésima parcela principal

$(R \times P)_{ij}$ = Error (a) entre parcelas principales

S_k = Efecto de la k -ésima sub-parcela

$(P \times S)_{jk}$ = Efecto de la interacción de la parcela principal " j " x subparcela " k ".

$(R \times S)_{ik} + ((R \times P \times S)_{ijk})$ = Error (b) entre subparcelas.

3.9.3. Variables analizadas

Las variables que se consideraron para establecer diferencias entre los tratamientos fueron: 1) Porcentaje de germinación; 2) altura de plantas; 3) número de hojas; 4) peso de raíces carnosas, 5) diámetro de raíces carnosas; 6) peso seco de la raíz absorbente; 7) clasificación por el número y peso según el diámetro de la raíz carnosa; 8) grados brix ; 9) número de plantas por metro cuadrado.

3.9.3.1. Porcentaje de germinación

Con el objeto de analizar la germinación en los sustratos se determinó el porcentaje correspondiente para cada uno. Esta medición se realizó a los 13 días después de la siembra

en escoria y mezcla, en la germinación. La forma de hacerlo fue haciendo un conteo de las semillas germinadas en relación con la cantidad de glumélulos utilizados en la siembra.

3.9.3.2. Altura de plantas

Se determinó a los 15, 30 y 50 días después de la siembra, se efectuó con una cinta métrica midiendo la altura en centímetros desde la superficie del sustrato hasta el ápice de la lámina foliar más alta. Por tratamiento se muestreó al azar 10 plantas.

3.9.3.3. Número de hojas

El número de hojas se determinó a los 30 y 50 días después de la siembra, haciendo un conteo de las hojas representativas, se muestreó 10 plantas al azar por cada tratamiento.

3.9.3.4. Peso de raíces carnosas

Teniendo las plantas separadas de área útil y no útil, se le quitaron con navaja las hojas y raíz absorbente a la raíz carnosa de cada remolacha. Posteriormente se pesaron en una balanza de plato las cabezas correspondientes a áreas útiles y por metro de cada parcela experimental.

3.9.3.5. Diámetro de la raíz carnosa

El diámetro de la cabeza se tomó en base al diámetro ecuatorial. Este se hizo en centímetros utilizando el pie de rey, tomando 10 plantas al azar de cada tratamiento.

3.9.3.6. Peso seco de la raíz absorbente

Para determinar el peso seco de la raíz absorbente se tomó una planta del área útil, teniendo el cuidado de extraer la raíz completa, se liberó de residuos de los sustratos, luego se colocaron en bolsas de papel previamente etiquetadas para su identificación. Se llevaron las 48 muestras al laboratorio y haciendo uso de balanzas semianalíticas se determinó el peso fresco de las raíces.

Para determinar el peso seco, las raíces en sus respectivas bolsas se colocaron a la estufa a 100 °C por 24 horas, luego transcurrido ese tiempo se sacaron de la estufa y enseguida se pasaron al desecador donde se tuvieron por una hora, posteriormente se obtuvo los pesos secos de las raíces.

3.9.3.7. Clasificación por el número de remolachas y peso según el diámetro de la raíz absorbente

Las remolachas de cada parcela se clasificaron según el diámetro en centímetros en los rangos comprendidos : <4, 4-4.99, 5-5.99, >6. Para cada rango se determinó el número y

el peso.

3.9.3.8. Grados brix

Los grados brix se determinaron por medio del refractómetro, se tomó una remolacha por tratamiento para el respectivo análisis, para lo cual de la parte central de la remolacha se le extrajo el jugo que se coloca en el refractómetro.

3.9.3.9. Número de plantas por metro cuadrado

Para conocer el número de plantas por metro cuadrado se contaron todas las plantas de la parcela que incluye las de área útil y no útil.

3.9.4. Análisis de correlación

A fin de determinar el grado de correlación que existe entre variables consideradas de importancia, se obtuvo bajo el correspondiente análisis estadístico dicha correlación.

9. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Condiciones climáticas del lugar donde se desarrolló el ensayo

Las condiciones climáticas durante el desarrollo del ensayo no afectaron negativamente el crecimiento del cultivo.

La ejecución del ensayo se efectuó en la estación seca, con el objetivo de determinar las necesidades hídricas del cultivo.

La radiación media mensual (RMM) se mantuvo relativamente constante para los tres meses, tal como se presenta en el Cuadro 8, esto ~~se~~ importante ya que la remolacha pertenece a las plantas de días largos, por lo cual son exigentes en el número de horas luz requeridos (13). La luminosidad, activa la fotosíntesis produciendo de esta forma fotosintatos, - los cuales son trasladados a las raíces reservantes.

La humedad relativa promedio y mínima se mantuvieron en un rango aceptable, con promedio de 66% la primera y la segunda con 27.33% el cual se aprecia en el Cuadro 8, contribuyendo así al desarrollo normal del cultivo.

En cuanto a la temperatura se mantuvo en un rango aceptable ya que según investigaciones realizadas en España -- (13, 16), la remolacha responde a una temperatura media de 25 °C. Durante el período de germinación se mantuvo una --

temperatura de 24 °C, por lo cual el cultivo se vió favorecido. Por otro lado para el desarrollo del cultivo y de la raíz principal, la temperatura de 24 °C favoreció en general a los tres sustratos.

La velocidad del viento se mantuvo a 2.89 m/seg. (Cuadro 8), lo cual no ocasionó daños mecánicos o acame a las plantas durante el desarrollo vegetativo de éste.

4.2. Aspectos generales del cultivo

La germinación de las plantas de remolacha se dió a los cuatro días en los sustratos escoria y mezcla, con lo cual se obtuvo un porcentaje de germinación del 57% y 63% respectivamente. En el sustrato granza de arroz la germinación se inició el sexto día después de la siembra, con un porcentaje de 57% aproximadamente (Cuadro 20).

A los cinco días de establecido el cultivo las plantas ubicadas en el sustrato granza de arroz fueron afectadas por enfermedades fungosas como lo fue el mal del talluelo; debido a que en el mismo sustrato mantenía bastante humedad por su disposición laminar. En los sustratos escoria y mezcla la incidencia de enfermedades fungosas fue menor que en el sustrato granza de arroz, debido a que poseen un buen drenaje.

Durante los primeros 15 días, el cultivo presentó dife-

rencias notables por sustratos y no por influencia de las - diferentes láminas de agua aplicadas, de tal forma que las plantas alcanzaron: en escoria, 5.23 cm; en mezcla, 4.42 cm, y en granza, 2.96 cm de altura (Cuadro 19 y Fig. 5).

A los 25 días de desarrollo fue notable el daño mecánico causado por el hongo Cercospora biticola en las plantas cultivadas en sustrato granza de arroz. En escoria, especialmente los tratamientos de lámina d_2 ($1.5 d_1$), hubo presencia de áfidos que cubrían el envés de las hojas de las plantas, no afectando en forma considerable el desarrollo de las mismas.

A los 30 días el cultivo de remolacha presentó una apariencia muy vigorosa en los sustratos escoria y mezcla, no así en granza de arroz; sobre todo en el número de hojas y altura de plantas que prácticamente era el doble (Cuadro 19). A la vez se observó una coloración pardo rojiza en el tallo de plantas, especialmente en el sustrato escoria. Cabe destacar que el color rojizo en el tallo y venas de plantas es característico en remolacha variedad Crosby egyptian.

El engrosamiento de la raíz, se inició a los 35 días en los sustratos escoria y mezcla con láminas d_2 , durante esta fase, el cultivo desarrolló una altura promedio de 24.52 cm y 19.31 cm respectivamente (Cuadro 19 y Fig. 5). El engrosamiento de la raíz carnosa de remolacha en granza fué evidente a los 45 días de desarrollo.

Las hojas que presentaban marchitamiento fueron cortadas a los 52 días. En este mismo período se presentó un -- acercamiento referente a altura de plantas en grana de -- arroz respecto a los sustratos escoria y mezcla (Cuadro - 19).

Cuadro 19. Altura y número de hojas de diferentes períodos vegetativos de remolacha de mesa utilizando sistema hidropónico.

TRATAMIENTOS	ALTURA (cm)			No. DE HOJAS	
	15 días	30 días	50 días	30 días	50 días
S ₁ d ₁	5.49	24.40	32.15	8.82	10.32
S ₁ d ₂	5.18	28.97	39.85	9.37	11.95
S ₁ d ₃	5.35	18.75	22.62	7.10	9.15
S ₁ d ₄	5.23	25.95	33.37	8.80	10.77
S ₂ d ₁	2.93	10.29	25.65	6.45	9.87
S ₂ d ₂	2.79	10.87	29.00	6.00	10.30
S ₂ d ₃	3.14	12.09	20.40	7.12	8.65
S ₂ d ₄	2.97	10.19	26.65	6.42	9.75
S ₃ d ₁	4.65	20.47	28.07	8.52	9.90
S ₃ d ₂	4.30	20.98	35.35	8.02	11.37
S ₃ d ₃	4.39	16.20	21.95	7.80	8.87
S ₃ d ₄	4.32	19.60	29.27	8.27	10.42

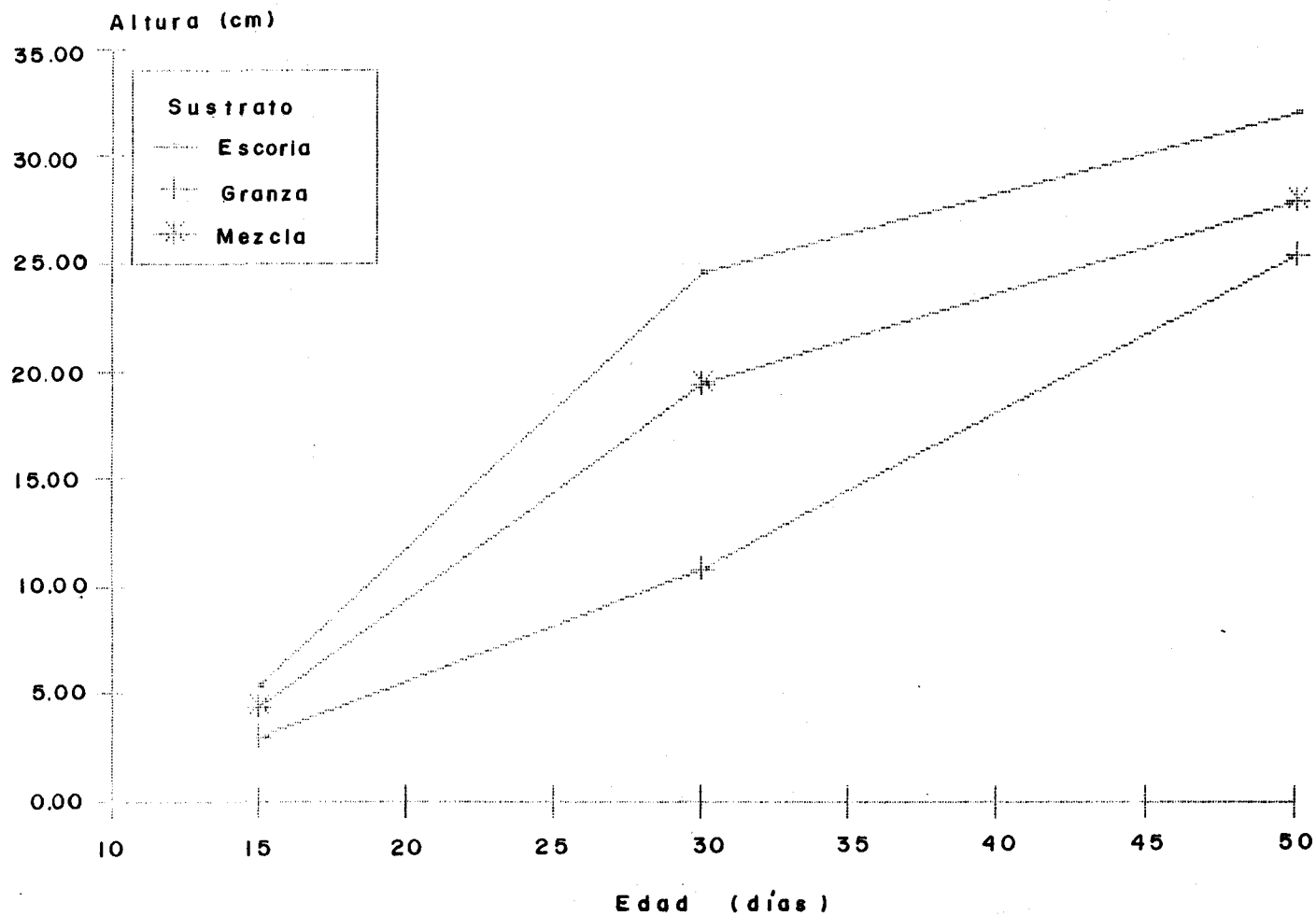


Fig. 5 - Efecto de sustratos en altura de plantas (cm) a los 15, 30 y 50 días, en remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

4.3. Control de plagas y enfermedades

En la fase de germinación las plántulas fueron afectadas en un 2.5% por la enfermedad del mal del talluelo, especialmente en el sustrato de granza. Esto se comprobó mediante muestras de plantas dañadas, analizadas en Laboratorio de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Dichas muestras presentaron signos del mal del talluelo causado por el hongo Rizoctonia solani (Fig. 6), el cual se controló mediante aplicaciones de Ridomil y Benlate a una concentración de 90 ppm y a intervalos de ocho días, lo cual contribuyó al control de la enfermedad, previniendo así el desarrollo en los demás sustratos.

A los 25 días se observó síntomas de la enfermedad mancha Cercospora, causada por el hongo Cercospora biticola (Fig. 6), éste se comprobó de igual manera que la enfermedad del mal del talluelo, para su control se aplicó Ridomil y Benlate a 90 ppm cada ocho días.

A los 40 días de establecido el cultivo, se observaron algunas plagas como la Tortuguilla (Diabrotica balteata) para lo cual se hicieron aplicaciones cada tres días de té de ajo y cebolla. Los daños ocasionados por esta plaga fueron mínimos, manifestándose en la parte foliar y en la raíz; pero no afectaron la presentación comercial de la remolacha. Se observó diferentes estadios de la diabrótica, en las --

prácticas de escardado.

Los áfidos y pulgones también afectaron el cultivo, observándose las mayores poblaciones en las S_1d_2 y S_1d_4 , debida su presencia a que en estas parcelas la humedad era mayor y las plantas son más suculentas que las otras. Se controló con aplicaciones de solución jabonosa y te de ajo y cebolla, con aplicaciones cada tres días.

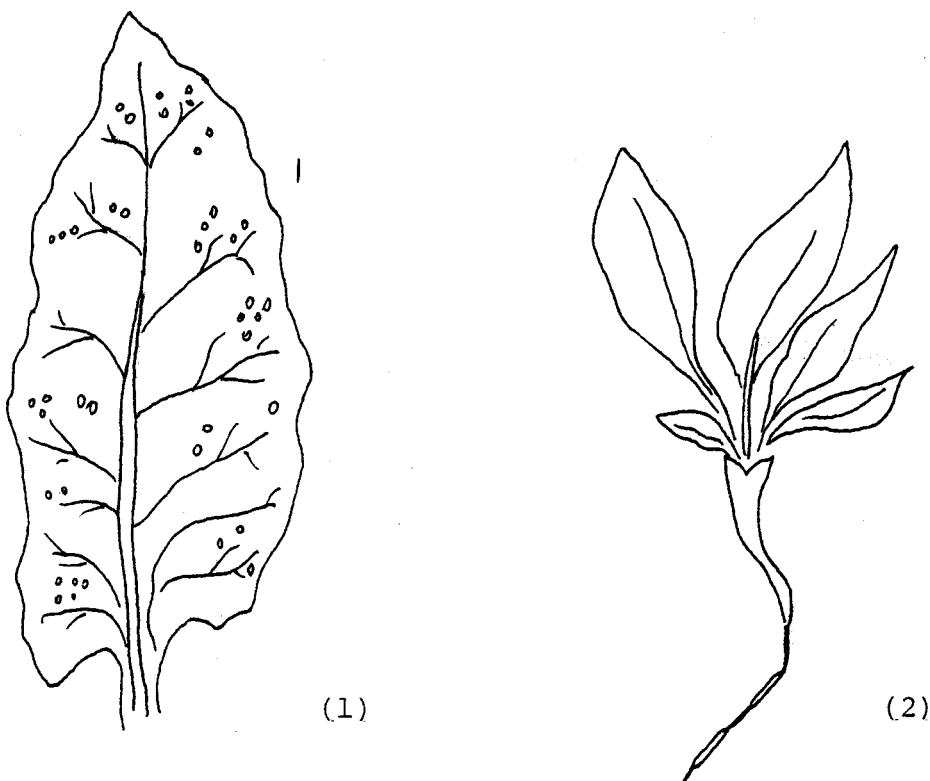


Figura 6. Principales enfermedades encontradas en el cultivo de remolacha, en sistema hidropónico.
(1) Daño causado por el hongo Cercospora biticola (Mancha Cercospora).
(2) Daño causado por el hongo Rizoctonia solani (Mal del talluelo).

4.4. Porcentaje de germinación

Para el análisis de esta variable se tiene el porcentaje de germinación sometidas a los diferentes tratamientos (Cuadro 20 y Fig. 7), análisis de varianza (Cuadro 21) y -- prueba de Duncan para láminas de riego (Cuadro 22).

Cuadro 20. Porcentaje de germinación de la semilla de remolacha; con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIA	TOTAL
S ₁	57.62	922.00
S ₂	56.94	911.00
S ₃	63.56	1017.00
d ₁	58.58	703.00
d ₂	59.67	716.00
d ₃	56.17	674.00
d ₄	63.08	757.00
S ₁ d ₁	55.75	223.00
S ₁ d ₂	54.00	216.00
S ₁ d ₃	59.25	237.00
S ₁ d ₄	61.50	246.00
S ₂ d ₁	57.00	228.00
S ₂ d ₂	57.75	231.00
S ₂ d ₃	51.75	207.00
S ₂ d ₄	61.25	245.00
S ₃ d ₁	63.00	252.00
S ₃ d ₂	67.25	269.00
S ₃ d ₃	57.50	230.00
S ₃ d ₄	66.50	266.00

Cuadro 21. Análisis de varianza del porcentaje de germinación de la remolacha, con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos (s)	2	424.63	212.313	2.18 ^{ns}	4.26	8.02
Error (a)	9	875.63	97.292			
Láminas (d)	3	297.08	99.028	4.73 ^{**}	2.96	4.60
s x d	6	262.04	43.674	2.11 ^{ns}	2.46	3.56
Error (b)	27	559.88	20.736			

ns : NO significativo

** : Altamente significativo

Cuadro 22. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en porcentaje de germinación en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₄	63.083	A
d ₂	59.667	A B
d ₁	58.533	B
d ₃	56.167	B

En cuanto al porcentaje de germinación de la remolacha, el análisis de varianza demostró que existen diferencias -- significativas entre láminas de riego, que no existe diferencia en sustratos y en interacción (Cuadro 21).

La prueba de Duncan para láminas de riego (Cuadro 22),

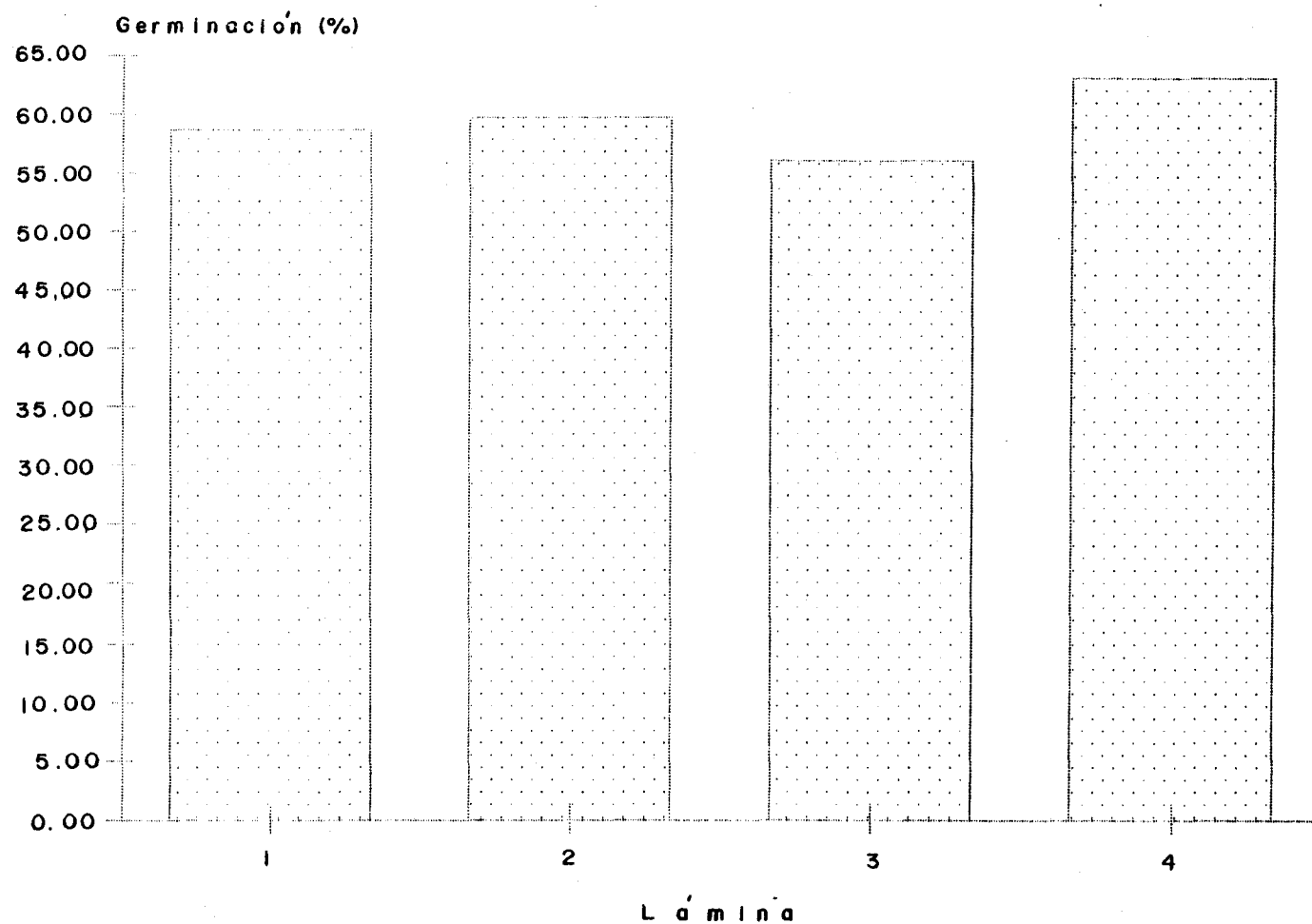
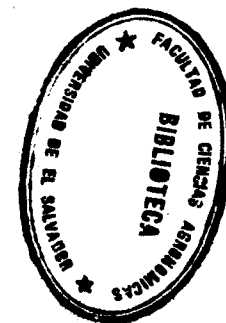


Fig. 7 — Efecto de láminas de riego en el porcentaje de germinación de remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.



estableció que d_4 y d_2 generó los mejores porcentajes de germinación con 63.08% y 59.67%, respectivamente.

En general, se podría decir que estos porcentajes de germinación son bajos comparados con los de Aguilar (1), que reporta un 99% de germinación.

Específicamente las pérdidas oscilan entre 43 y 36 por ciento. Probablemente ocasionado por la profundidad de siembra o por la remoción de la semilla por el brusco uso de los sacos que cubrían los módulos.

En definitiva, lo importante es que no es por influencia de los sustratos lo que limitó la germinación y que aquellas parcelas que se regaron con d_4 y d_2 que eran de mayor volumen (Cuadro 16), provocaron un ligero aumento en la germinación.

4.5. Altura de planta a los quince días

Para el análisis de esta variable se tiene la altura promedio de las plantas de remolacha a los quince días después de la siembra, sometidas a los diferentes tratamientos (Cuadro 23 y Fig. 5), análisis de varianza (Cuadro 24) y la prueba de Duncan para diferencias entre tratamientos (Cuadro 25).

Cuadro 23. Altura promedio (cm) de plantas de remolacha a los quince días después de la siembra con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIA	TOTAL
S ₁	5.32	85.04
S ₂	2.96	47.37
S ₃	4.42	70.68
d ₁	4.36	52.32
d ₂	4.09	49.12
d ₃	4.29	51.55
d ₄	4.17	50.10
S ₁ d ₁	5.49	21.98
S ₁ d ₂	5.18	20.73
S ₁ d ₃	5.35	21.40
S ₁ d ₄	5.23	20.93
S ₂ d ₁	2.93	11.74
S ₂ d ₂	2.79	11.18
S ₂ d ₃	3.14	12.57
S ₂ d ₄	2.97	11.88
S ₃ d ₁	4.65	18.60
S ₃ d ₂	4.30	17.21
S ₃ d ₃	4.39	17.58
S ₃ d ₄	4.32	17.29

Cuadro 24. Análisis de varianza de altura promedio (cm) de plantas de remolacha a los quince días después de la siembra, con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

F. de V.	G.L.	S.C.	S.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos (s)	2	45.18	22.590	97.46**	4.26	8.02
Error (a)	9	2.09	0.232			
Láminas (d)	3	0.52	0.172	1.52 ^{ns}	2.96	4.60
s x d	6	0.27	0.045	0.40 ^{ns}	2.46	3.56
Error (b)	27	3.04	0.113			

ns : No significativo

** : Altamente significativo

Cuadro 25. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en la altura de plantas de remolacha a los quince días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

SUSTRATOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁	5.32	A
S ₃	4.42	B
S ₂	2.96	C

La altura de planta promedio a los quince días de crecimiento de remolacha, demostró en el análisis de varianza --

que existen diferencias significativas entre sustratos; -- que no existe diferencia entre las láminas de riego y también no existe diferencia en la interacción de sustratos y láminas de riego (Cuadro 24).

La prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 25) estableció que existen diferencias significativas entre ellos, reportando la mayor altura la escoria volcánica (S_1) con 5.32 cm, la mezcla (S_2) 4.42 cm y la granza (S_3) 2.96 cm.

Estas diferencias de altura de las plantas a los quince días debido a los sustratos, se generó inicialmente por la diferencia en los días para la germinación, siendo la escoria y la mezcla más tempranas; y la granza que retardó su emergencia. A partir de la germinación hasta los quince días de crecimiento, se establecieron notables diferencias, como : vigorosidad, color y altura de planta.

En la escoria volcánica las plantas alcanzaron un promedio de 5.32 cm, superando a la mezcla 17% y a la granza en 45%, lo que refleja que éste, por sus características físicas origina un mejor contacto de las raicillas con las partículas del sustrato, lo que permite una mayor superficie de absorción de los nutrimentos, generando así un mayor desarrollo y crecimiento de la superficie foliar. En granza las plantas presentaron un lento crecimiento y fue evidente el color verde claro en las hojas, su altura promedio fue de 2.96 cm. El comportamiento de la mezcla resultó ser intermedia entre escoria y granza, con una altura promedio de --

4.42 cm. Según Aguilar (1), a los 15 días las plantas alcanzan alturas de 4.96 cm en escoria-abono azul y 2.24 cm en granza-abono azul.

La no significancia de las láminas de riego, demuestra que para el período inicial de desarrollo los volúmenes de agua aplicados en el ensayo son indiferentes, bastaría por tanto, aplicar láminas d_3 ; que a la vez evitaría la incidencia de enfermedades fungosas como el mal del talluelo.

Según Israelsen (18), tanto el tipo de cultivo como su estado de desarrollo influyen directamente sobre la transpiración y, en consecuencia, sobre la evapotranspiración.

4.6. Altura de planta a los treinta días

Para el análisis de esta variable se tiene la altura promedio de las plantas de remolacha a los treinta días después de la siembra, sometidas a los diferentes tratamientos (Cuadro 26 y Fig. 5), análisis de varianza (Cuadro 27), y las pruebas de Duncan para sustratos, láminas de riego e interacción entre sustratos y láminas de riego (Cuadros 28, - 29 y 30).

Cuadro 26. Altura de plantas promedio de remolacha a los treinta días después de la siembra en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

Tratamientos	Media	Total
S ₁	24.52	392.30
S ₂	10.88	174.15
S ₃	19.31	309.01
d ₁	18.42	221.05
d ₂	20.28	243.31
d ₃	15.68	188.15
d ₄	18.58	222.95
S ₁ d ₁	24.40	97.60
S ₁ d ₂	28.97	115.90
S ₁ d ₃	18.75	75.00
S ₁ d ₄	25.95	103.80
S ₂ d ₁	10.39	41.55
S ₂ d ₂	10.87	43.50
S ₂ d ₃	12.09	48.35
S ₂ d ₄	10.19	40.75
S ₃ d ₁	20.47	81.90
S ₃ d ₂	20.98	83.91
S ₃ d ₃	16.20	64.80
S ₃ d ₄	19.60	78.40

Cuadro 27. Análisis de varianza de altura de planta promedio de remolacha a los treinta días después de la siembra en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

F. de Var.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos (s)	2	1514.87	757.436	369.93**	4.26	8.02
Error (a)	9	18.43	2.047			
Láminas (d)	3	130.20	43.401	34.77**	2.96	4.60
s x d	6	154.89	25.815	20.68**	2.46	3.56
Error (b)	27	33.70				

** : Altamente significativo.

Cuadro 28. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en la altura de plantas de remolacha a los treinta días de crecimiento en cm en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

TRATAMIENTO	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁	24.52	A
S ₃	19.31	B
S ₂	10.88	C

Cuadro 29. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en la altura de plantas - de remolacha a los treinta días de crecimiento en cm en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₂	20.23	A
d ₄	18.53	B
d ₁	18.42	B
d ₃	15.68	C

Cuadro 30. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustratos y láminas de riego en altura de plantas de remolacha a los treinta días de crecimiento en cm en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁ d ₂	29.98	A
S ₁ d ₄	25.95	B
S ₁ d ₁	24.40	B
S ₃ d ₂	20.93	C
S ₃ d ₁	20.48	C
S ₃ d ₄	19.60	CD
S ₁ d ₃	18.75	D
S ₃ d ₃	16.20	E
S ₂ d ₃	12.09	F
S ₂ d ₂	10.83	FG
S ₂ d ₁	10.39	FG
S ₂ d ₄	10.19	G

La altura de planta promedio a los 30 días de crecimiento de remolacha, demostró en el análisis de varianza - que existen diferencias significativas entre sustratos, láminas de riego e interacción (s x d) (Cuadro 27).

La prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 28), estableció que existe diferencias significativas entre ellos, reportando la mayor altura la escoria volcánica con 24.52 cm, la mezcla 19.31 cm y la granza con 10.88 cm.

La escoria volcánica a los 30 días de crecimiento reporta al igual que a los 15 días superar un 17% a mezcla y un 45% a la granza proximadamente estas alturas son producto de las propiedades físicas que este sustrato posee.

La estructura granulométrica de la escoria, favoreció en gran medida al crecimiento de las plantas. Según Kramer (20), las variaciones en el crecimiento vegetal observadas en una situación determinada son causadas, sobre todo, por diferencias en la estructura.

La granza que presentó la altura promedio para este período de crecimiento de 10.88 cm, demuestra que las plantas no se desarrollan eficientemente, este sustrato por su disposición laminar, provoca discontinuidad entre los poros, - de tal forma que su estructura no contribuye a la absorción de agua y nutrimentos. Según Kramer (20), la estructura del sustrato ejerce efecto directo sobre el crecimiento vegetal, puede atribuirse a las diferencias en los impedimentos mecánicos que ofrecen las partículas.

La prueba de Duncan para láminas, establece que existen diferencias significativas entre ellas (Cuadro 29). La lámina d_2 resultó ser la mejor con promedio de altura de 20.28 cm. Las d_4 y d_1 son estadísticamente iguales con 18.58 cm y 18.42 cm, respectivamente y la peor respuesta - resultó ser la d_3 con un promedio de 15.68 cm, superando d_2 en 10% a láminas d_4 y d_1 y un 23% a lámina d_3 .

La lámina d_2 para este período fue de 7.26 mm, siendo capaz de producir las mejores alturas para esta fase vegetativa, lo que significa que esta cantidad de agua logró suplir las necesidades hídricas del cultivo. Según Guerrero (17), las necesidades de agua de la remolacha son considerables. La superficie foliar de la remolacha puede considerarse como una de las más desarrolladas entre los cultivos, como la transpiración se realiza e través de las hojas, la planta expulsa cantidades muy importantes de agua que debe tomar previamente del suelo o en este caso del sustrato.

La prueba de Duncan para interacción (s x d) (Cuadro 30), en cuanto a la altura promedio de planta a los 30 días de crecimiento, demuestra que el tratamiento S_1d_2 resultó ser el mejor con una altura promedio de 28.98 cm. Los tratamientos S_1d_4 y S_1d_1 resultaron ser estadísticamente iguales con 25.95 cm y 24.40 cm, respectivamente.

La buena respuesta de la escoria en interacción a las cantidades de agua aplicadas, descifra una vez más que las propiedades físicas de este sustrato generan un mejor apro-

vechamiento del agua por parte de la planta. Básicamente la transpiración del cultivo se ve favorecida por la relación sustrato-agua y es la estructura del sustrato la característica influyente, siendo su alto grado de porosidad lo más importante, que genera una excelente conductividad hidráulica y por ende mejor movilidad del agua entre las partículas del sustrato. Según el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (30), un suelo que tenga un alto grado de porosidad y una textura abierta, registra un índice alto de conductividad hidráulica.

4.7. Altura de planta a los cincuenta días

Para el análisis de esta variable se tiene la altura promedio de las plantas de remolacha a los cincuenta días después de la siembra, sometidas a los diferentes tratamientos (Cuadro 31 y Fig. 5), análisis de varianza (Cuadro 32) y las pruebas de Duncan para sustratos, láminas de riego e interacción entre sustratos y láminas de riego (Cuadros 33, 34 y 35).

Cuadro 31. Altura de plantas promedio de remolacha a los cincuenta días después de la siembra en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIA	TOTAL
S ₁	32.00	512.00
S ₂	25.42	406.80
S ₃	27.91	446.60
d ₁	28.62	343.50
d ₂	33.73	404.80
d ₃	21.65	259.90
d ₄	29.76	357.20
S ₁ d ₁	32.15	128.40
S ₁ d ₂	39.85	159.40
S ₁ d ₃	22.62	90.50
S ₁ d ₄	33.37	133.50
S ₂ d ₁	25.65	102.60
S ₂ d ₂	29.00	116.00
S ₂ d ₃	20.40	81.60
S ₂ d ₄	26.65	106.60
S ₃ d ₁	28.07	112.30
S ₃ d ₂	32.35	129.40
S ₃ d ₃	21.95	87.80
S ₃ d ₄	29.27	117.10

Cuadro 32. Análisis de varianza de altura de planta promedio de remolacha a los cincuenta días después de la siembra en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos (s)	2	352.67	176.336	52.23**	4.26	8.02
Error (a)	9	30.38	3.376			
Láminas (d)	3	909.65	303.218	64.94**	2.96	4.60
s x d	6	82.88	13.814	2.96*	2.46	3.56
Error (b)	27	126.07	4.669			

** : Altamente significativo 1%
 * : Significativo 5%

Cuadro 33. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en la altura de plantas de remolacha a los cincuenta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIAS DE MEDIAS
S ₁	32.00	A
S ₃	27.91	B
S ₂	25.42	C

Cuadro 34. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en la altura de plantas de remolacha a los cincuenta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₂	33.73	A
d ₄	29.77	B
d ₁	28.63	B
d ₃	21.66	C

Cuadro 35. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustratos y láminas de riego en altura de plantas de remolacha a los cincuenta días de crecimiento en cm, en cultivo hidropónico, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁ d ₂	39.85	A
S ₁ d ₄	33.38	B
S ₃ d ₂	32.35	BC
S ₁ d ₁	32.15	BC
S ₃ d ₄	29.27	CD
S ₂ d ₂	29.00	CDE
S ₃ d ₁	28.08	DE
S ₂ d ₄	26.65	DE
S ₂ d ₁	25.65	EF
S ₁ d ₃	22.63	FG
S ₃ d ₃	21.95	G
S ₂ d ₃	20.40	G

La altura de planta promedio a los cincuenta días de crecimiento de remolacha, demostró en el análisis de varianza que existe diferencias significativas entre sustratos, láminas e interacción (s x d) (Cuadro 32).

La prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 23), estableció que existen diferencias significativas entre ellos, re-

portando la mayor altura la escoria volcánica con 32.0 cm, la mezcla con 27.91 cm y la granza con 25.42 cm.

La escoria volcánica a los cincuenta días de crecimiento reporta al igual que a los 15 y 30 días las alturas mayores, aunque las diferencias se disminuyan un poco. Dicho fenómeno obedece a explicaciones, ya denotadas en el análisis para altura a los 30 días de crecimiento.

La granza de arroz mejoró notablemente las alturas de las plantas en este último período. Debido a las aplicaciones del fertilizante foliar N-P-K a los 39 y 46 días de crecimiento del cultivo. Lo que produjo un aceleramiento en el crecimiento de las plantas, como éstas no lograban nutrirse por medio de la raíz, lo hicieron a través de sus hojas.

La prueba de Duncan para láminas de riego (Cuadro 34), resultaron tener el mismo comportamiento que para altura a los 30 días. Siendo la mejor la lámina d_2 con 33.73 cm; d_4 y d_1 estadísticamente iguales con 29.77 cm y 28.63 cm respectivamente, y la d_3 que es la lámina más pequeña aplicada con 21.66 cm de altura.

La prueba de Duncan para interacción (s x d) (Cuadro 35), resultó con la misma tendencia a la altura para 30 días, -- siendo S_1d_2 la mejor con 39.85 cm, las interacciones S_1d_4 , S_3d_2 y S_1d_1 resultaron ser estadísticamente iguales con -- 33.38 cm, 32.35 cm y 32.15 cm, respectivamente. La explicación a dicho fenómeno redundaría en lo dicho en la variable de altura de planta a los 30 días de crecimiento.

4.8. Número de hojas a los treinta días

Esta variable se analizó con los datos de las medias del número de hojas-planta tomados a los 30 días (Cuadro - 36 y Fig. 8⁸), análisis de varianza (Cuadro 37), prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 38) e interacción lámina-sustrato (Cuadro 39).

Cuadro 36. Medias de número de hojas-planta de remolacha a los treinta días, con cuatro láminas y tres sustratos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	T O T A L
S ₁	8.52 *	136.50
S ₂	6.50	104.00
S ₃	8.15	130.00
d ₁	7.93	95.20
d ₂	7.80	93.60
d ₃	7.34	88.10
d ₄	7.83	94.00
S ₁ d ₁	8.82	35.30
S ₁ d ₂	9.37	37.50
S ₁ d ₃	7.10	28.40
S ₁ d ₄	8.80	35.20
S ₂ d ₁	6.45	25.80
S ₂ d ₂	6.00	24.00
S ₂ d ₃	7.12	28.50
S ₂ d ₄	6.42	25.70
S ₃ d ₁	8.52	34.10
S ₃ d ₂	8.02	32.10
S ₃ d ₃	7.80	31.20
S ₃ d ₄	8.27	33.10

Cuadro 37. Análisis de varianza de número de hojas/planta a los treinta días.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustrato (s)	2	37.23	18.613	38.45**	4.26	8.02
Error (a)	9	4.36	0.484			
Lámina (d)	3	2.49	0.831	2.55 ^{ns}	2.96	4.60
Int. s x d	6	12.95	2.159	6.64**	2.46	3.56

ns : No significativo

** : Altamente significativo (0.01).

Cuadro 38. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de parcela principal (sustrato) en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia.

SUSTRATO	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁	8.52	A
S ₃	8.16	A
S ₂	6.50	B

Cuadro 39. Prueba de Duncan para diferencia entre medias - de interacción sustrato x lámina, en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia.

INT. s x d	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁ d ₂	9.38	A
S ₁ d ₁	8.82	AB
S ₁ d ₄	8.80	AB
S ₃ d ₁	8.52	ABC

Continuación Cuadro 39.

INT. s x d	MEDIA	DIFERENCIA DE MEDIAS
S_3d_4	8.27	BC
S_3d_2	8.02	BC
S_3d_3	7.80	CD
S_2d_3	7.13	DE
S_1d_3	7.10	DE
S_2d_1	6.45	EF
S_2d_4	6.43	EF
S_2d_2	6.00	F

El análisis de varianza demuestra que hay diferencia significativa para la fuente de variación sustrato y también en la interacción sustrato-lámina (s x d). No así en lámina (Cuadro 37). La prueba de Duncan (Cuadro 38), demostró que esa diferencia en sustratos, es mayor en el sustrato escoria volcánica roja (S_1) y en la mezcla escoria-granza (S_3) ya que superan significativamente la media de granza de arroz; por el retraso que hubo en la germinación y el desarrollo de las plantas de remolacha en dicho sustrato debido a la falta de arraigamiento entre la planta y el sustrato.

La prueba de Duncan para interacción sustrato-lámina demostró que la diferencia altamente significativa es debida específicamente al tratamiento S_1d_2 que corresponde a -

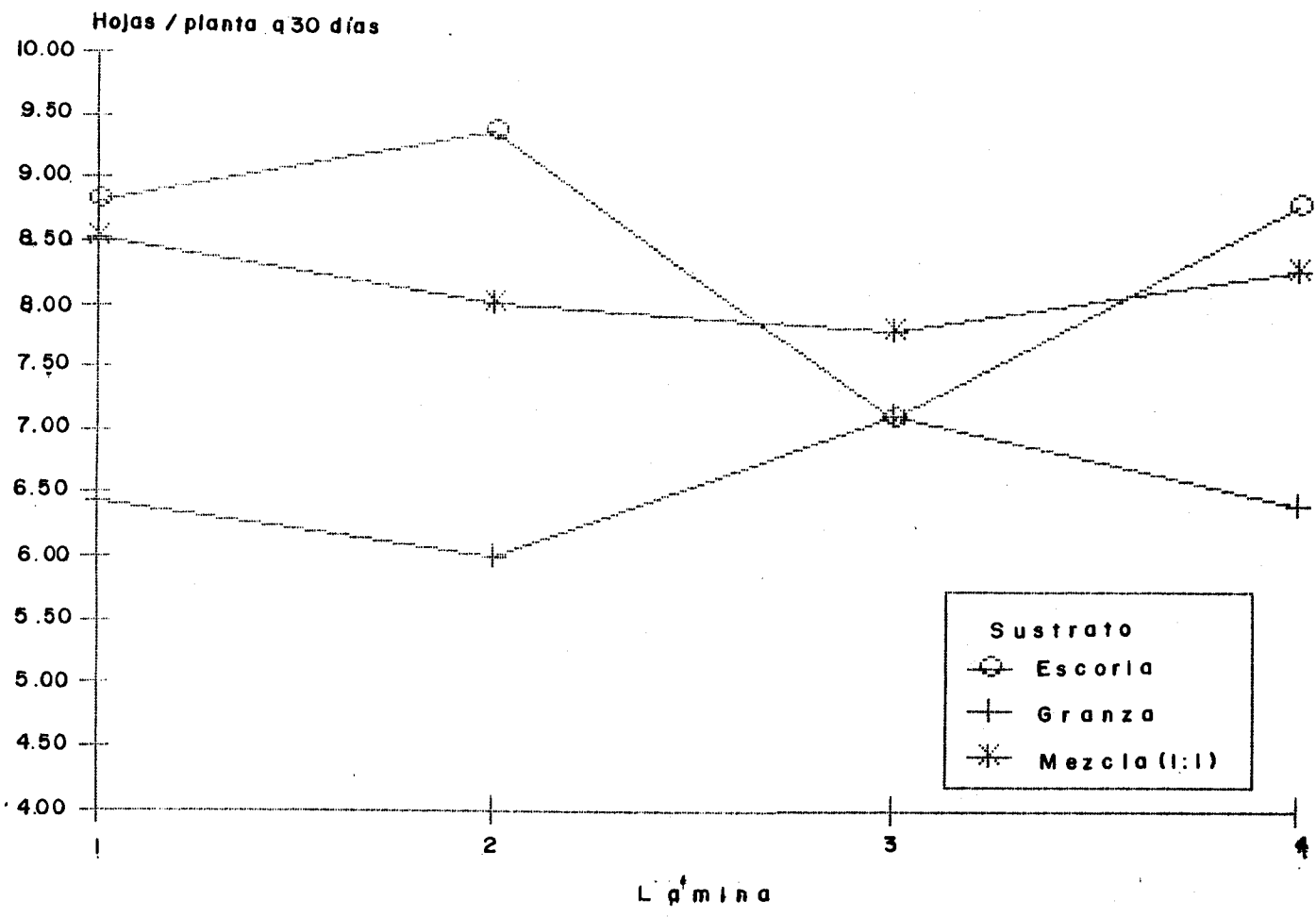


Fig. 8 — Efecto de sustratos y láminas de riego en el número de hojas por planta a los 30 días, en remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

escoria volcánica y 1.5 la lámina de riego (d_1) pero estadísticamente todos los tratamientos con escoria volcánica roja al 100% son iguales excepto el S_1d_3 que corresponde al tratamiento escoria y 0.5 la lámina de riego. Esta diferencia se debe posiblemente a la falta de desarrollo observado en los sustratos que contenían granza de arroz (S_2 y S_3) ya que en el sustrato S_1 se observó siempre mayor precocidad.

Según el Servicio de Conservación de Suelos (30), la estructura del suelo (sustrato), incluye en el grado en que el aire y el agua penetran y se mueven en el suelo. Asimismo, afecta en cuanto a la penetración a la raíz y en la disponibilidad de los elementos nutritivos.

En este caso se habla de los tipos de suelos en cuanto a la penetración del agua y se puede hacer notar que el sustrato granza de arroz por su estructura laminar impide la penetración del agua; de ahí su bajo promedio en cuanto a la variable número de hojas.

De ahí también se observa que suelos aterronados como por ejemplo escoria volcánica que es un tipo de estructura más favorable para la captación del agua. La mayoría de las plantas tienen un grado mayor de eficiencia en la toma del agua si el nivel de humedad es alto (30).

4.9. Hojas-planta a los cincuenta días

Para analizar esta variable se tiene el cuadro de me días del número de hojas-planta tomados a los 50 días (Cuadro 40 y Fig. 9). El análisis de varianza (Cuadro 41) y prueba de Duncan para lámina (Cuadro 42).

Cuadro 40. Medias de número de hojas-planta de remolacha a los cincuenta días, con cuatro láminas y tres sustratos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	T O T A L
S ₁	10.55	168.80
S ₂	9.64	154.30
S ₃	10.14	162.30
d ₁	10.03	120.40
d ₂	11.21	134.50
d ₃	8.89	106.70
d ₄	10.32	123.80
S ₁ d ₁	10.32	41.30
S ₁ d ₂	11.95	47.80
S ₁ d ₃	9.15	36.60
S ₁ d ₄	10.77	43.10
S ₂ d ₁	9.87	39.50
S ₂ d ₂	10.30	41.20
S ₂ d ₃	8.65	34.60
S ₂ d ₄	9.75	39.00
S ₃ d ₁	9.90	39.60
S ₃ d ₂	11.37	45.50
S ₃ d ₃	8.87	35.50
S ₃ d ₄	10.42	41.70

Cuadro 41. Análisis de varianza de número de hojas-planta a los cincuenta días.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustrato	2	6.59	3.297	3.76 ^{ns}	4.26	8.02
Error (a)	9	7.90	0.878			
Lámina	3	32.87	10.957	44.11**	8.96	4.60
Int. s x d	6	2.20	0.367	1.48 ^{ns}	2.46	3.56
Error (b)	27	6.71	0.248			

ns : No significativo

** : Altamente significativo.

Cuadro 42. Prueba de Duncan para diferencias entre medias de subparcela (láminas) en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia.

LAMINA	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₂	11.21	A
d ₄	10.32	B
d ₁	10.03	B
d ₃	8.89	C

El análisis de varianza demuestra que no hay diferencia significativa en los sustratos y la interacción sustrato x lámina en el número de hojas-planta a los 50 días; pero sí hay diferencia altamente significativa en láminas (Cuadro 41).

La prueba de Duncan demostró que la diferencia es debida a la aplicación de 1.5 d₁, que corresponde a lámina d₂; también demuestra que la lámina d₄ y d₁ son estadísticamente

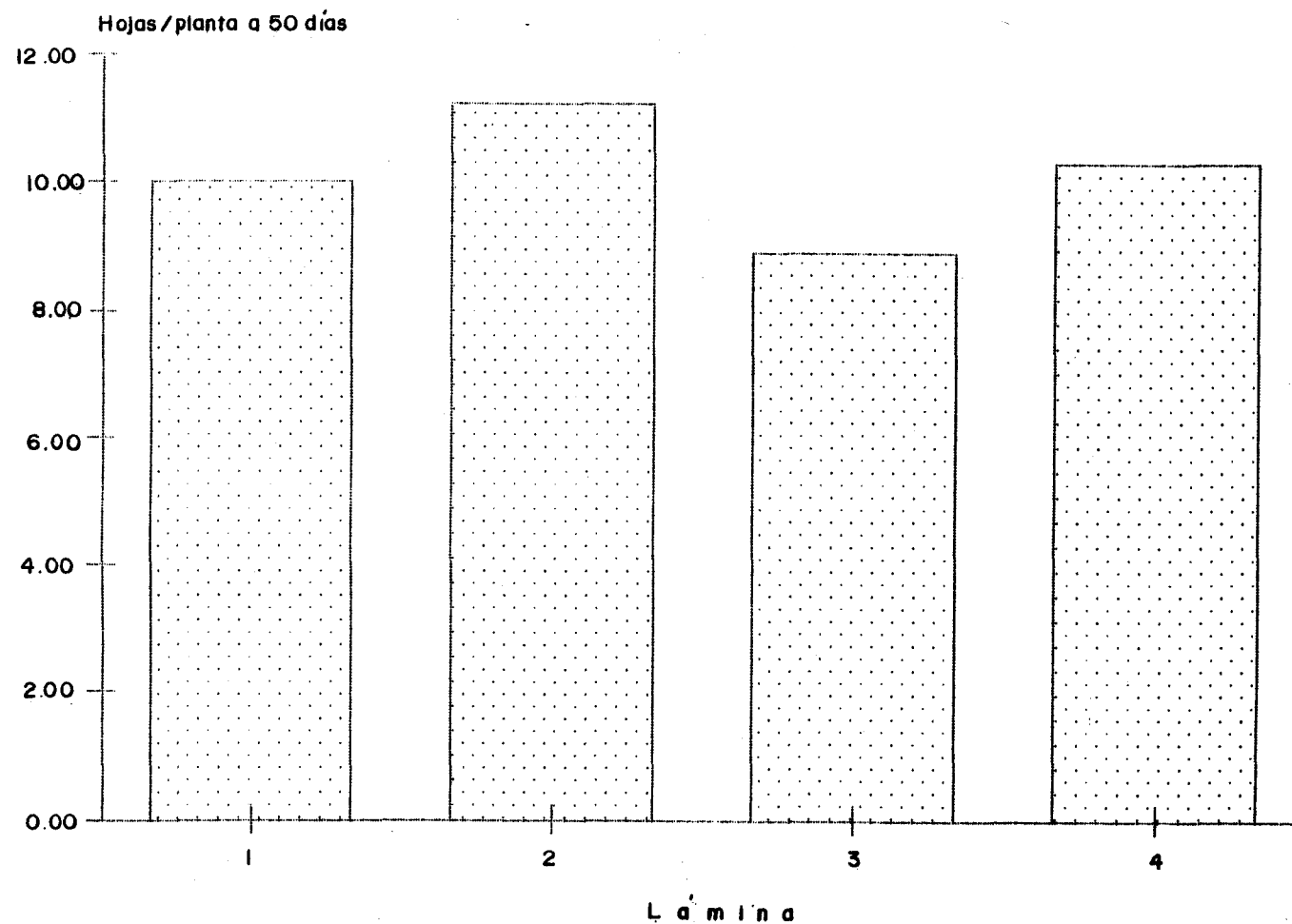


Fig. 9 - Efecto de láminas de riego en el número de hojas por planta a los 50 días en remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

iguales, pero superan a la lámina d_3 que corresponde a 0.5 d_1 . Comparando estos resultados a los 50 días con los resultados a los 30 días, se puede concluir que hubo una homogenización en los sustratos conteniendo granza de arroz que hicieron que las diferencias fueran no significativas en la variable hojas-planta.

4.10. Peso de la raíz carnosa

Para el análisis de esta variable se tienen los pesos del bulbo de remolacha en gramos en un cuadro de medias (Cuadro 43 y Fig.10), tomados al final del ciclo vegetativo, el análisis de varianza (Cuadro 44), prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 45), prueba de Duncan para láminas (Cuadro 46) y prueba de Duncan para interacción sustrato-lámina (Cuadro 47).

Cuadro 43. Medias de peso del bulbo de remolacha en gramos al final del ciclo vegetativo en tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	T O T A L
S_1	2657.81	42,525.00
S_2	1268.66	20,298.60
S_3	2097.90	33,566.40
d_1	2017.57	24,210.90
d_2	2936.59	35,239.05

Continuación Cuadro 43.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	T O T A L
d ₃	987.52	11,850.30
d ₄	2090.81	25,089.75
S ₁ d ₁	2572.76	10,291.05
S ₁ d ₂	4117.84	16,471.35
S ₁ d ₃	1169.44	4,677.75
S ₁ d ₄	2771.21	11,084.85
S ₂ d ₁	1247.40	4,989.60
S ₂ d ₂	1559.25	6,237.00
S ₂ d ₃	878.85	3,515.40
S ₂ d ₄	1389.15	5,556.60
S ₃ d ₁	2232.56	8,930.25
S ₃ d ₂	3132.67	12,530.70
S ₃ d ₃	914.29	3,657.15
S ₃ d ₄	2112.07	8,448.30

Cuadro 44. Análisis de varianza de peso promedio de la --
raíz carnosa de remolacha en gramos.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustrato	2	15631330.81	7815665.404	34.10**	4.26	8.02
Error (a)	9	2062753.89	229194.876			
Lámina	3	22927121.80	7642373.933	146.54**	2.96	4.60
Int. s x d	6	5506570.74	917761.790	17.60**	2.46	3.56
Error (b)	27	1408121.85	52152.661			

Cuadro 45. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en cultivo hidropónico de remolacha al 1% de significancia.

SUSTRATO	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁	2657.81	A
S ₃	2097.90	B
S ₂	1268.66	C

Cuadro 46. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de lámina en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia.

LAMINA	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₂	2936.59	A
d ₄	2090.81	B
d ₁	2012.58	B
d ₃	987.53	C

Cuadro 47. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustrato x lámina en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia.

TRATAMIENTO	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁ d ₂	4117.84	A
S ₃ d ₂	3132.68	B
S ₃ d ₂	2771.21	C
S ₁ d ₄	2572.76	C
S ₁ d ₁	2232.56	D
S ₃ d ₁	2112.08	D
S ₃ d ₄	1559.25	E
S ₂ d ₂	1389.15	AEF
S ₂ d ₄	1247.40	NEFG
S ₂ d ₁	1169.44	XFGH
S ₁ d ₃	914.29	XGH
S ₃ d ₃	878.85	H
S ₂ d ₃		

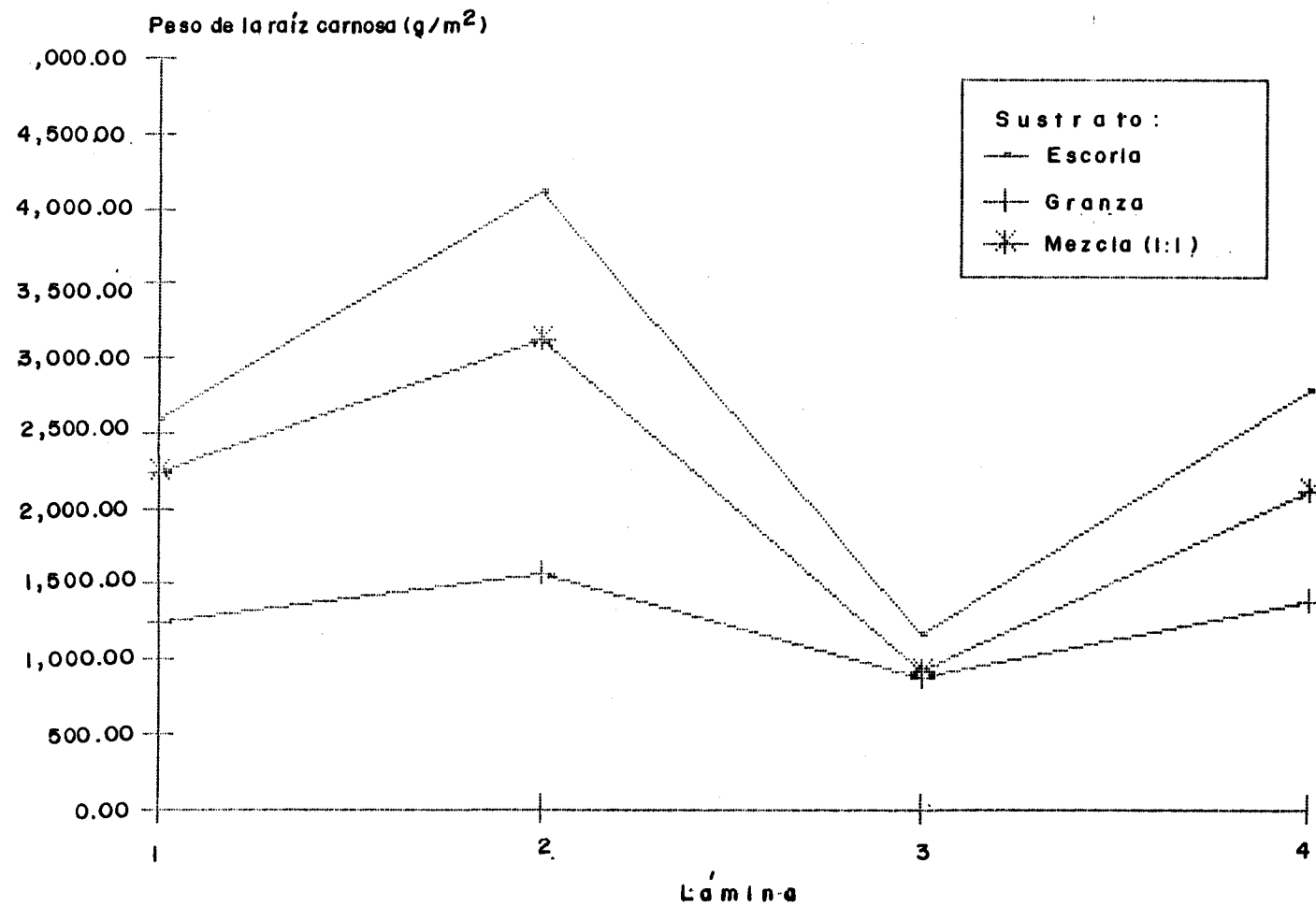


Fig.10 - Efecto de sustratos y láminas de riego en el peso de la raíz carnosa (g /m²) de las raíces de remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

El análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas, tanto para sustratos, láminas e interacción (S x d) en el cultivo de remolacha (Beta vulgaris) var. Crosby egyptian, con respecto al peso de la raíz carnosa (Cuadro 44).

La prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 45), demostró que el rendimiento (en peso) por metro cuadrado en el sustrato escoria volcánica (S_1) supera el rendimiento del sustrato escoria-granza (S_3) y éste a su vez supera el rendimiento en sustrato granza de arroz.

La prueba de Duncan para láminas (Cuadro 46), demostró a su vez que la lámina d_2 que corresponde a $1.5 d_1$, es superior en cuanto a rendimiento por metro cuadrado a las láminas d_4 y d_1 (ambas estadísticamente iguales) pero a su vez superiores a la lámina d_3 (ó sea $0.5 d_1$).

La prueba de Duncan para interacción sustrato-lámina demostró que la diferencia se debe al tratamiento escoria volcánica $1.5 d_1$ ($S_1 d_2$) que estadísticamente es superior a los demás tratamientos; es de hacer notar también que este tratamiento fue siempre superior a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo, tanto en desarrollo - como también en el crecimiento, comparado con los demás tratamientos en estudio (Cuadro 47).

También se puede observar el tratamiento $S_3 d_2$ correspondiente a mezcla - $1.5 d_1$ que después del tratamiento $S_1 d_2$, supera estadísticamente el rendimiento de los otros trata-

mientos.

Seguidamente a estos tratamientos se observan los resultados obtenidos por los tratamientos S_1d_4 y S_1d_1 que estadísticamente son iguales, razón que se debe posiblemente a que las láminas d_4 y d_1 fueron a lo largo de todo el ciclo vegetativo prácticamente la misma pero con cierta superioridad de la lámina d_4 . Esto puede asegurarse más al ver los rendimientos en el sustrato mezcla con las láminas en mención (S_3d_1 y S_3d_4) que dan pesos estadísticamente iguales (Cuadro 47).

Sin embargo el tratamiento S_1d_3 correspondiente a escoria y 0.5 d_1 presenta resultados bastante inferiores a los demás en escoria razón atribuida a la deficiencia en el agua, que se notaba sobre todo en los finales del ciclo vegetativo por el marchitamiento de la planta en general y el resecamiento en la superficie del sustrato. En fin se puede decir que todos los tratamientos con esa lámina (d_3), presentaron los peores resultados en los pesos de la raíz carnosa (Cuadro 47).

4.11. Diámetro de raíces carnosas

Para el análisis de esta variable se tiene el diámetro de las raíces sometidas a los diferentes tratamientos (Cuadro 48 y Fig. 11), análisis de varianza (Cuadro 49), y las pruebas de Duncan para sustratos, láminas de riego e -

interacción entre sustratos y láminas de riego (Cuadros 50, 51, 52).

Cuadro 48. Diámetros promedios de las raíces de remolacha en cm; con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIA	T O T A L
S ₁	5.05	80.81
S ₂	3.78	60.55
S ₃	4.72	75.51
d ₁	4.65	55.75
d ₂	5.25	62.95
d ₃	3.46	41.55
d ₄	4.72	56.62
S ₁ d ₁	5.15	20.59
S ₁ d ₂	6.13	24.52
S ₁ d ₃	3.63	14.52
S ₁ d ₄	5.29	21.18
S ₂ d ₁	3.78	15.12
S ₂ d ₂	4.03	16.11
S ₂ d ₃	3.26	13.05
S ₂ d ₄	4.07	16.27
S ₃ d ₁	5.01	20.40
S ₃ d ₂	5.58	22.32
S ₃ d ₃	3.49	13.98
S ₃ d ₄	4.79	19.17

Cuadro 49. Análisis de varianza de los diámetros promedios de las raíces de remolacha en centímetros, con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

F. de V.	G.L.	S.C.	S.M.	F.Cal.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos (s)	2	13.80	6.900	24.80**	4.25	8.02
Error (a)	9	2.50	0.278			
Láminas (d)	3	20.40	6.801	57.15**	2.96	4.60
s x d	6	3.57	0.595	5.00**	2.46	3.56
Error (b)	27	3.21	0.119			

n.s. : No significativo
 ** : Altamente significativo.

Cuadro 50. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en los diámetros de las raíces en cm en cultivo hidropónico de remolacha al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIAS DE MEDIAS
S ₁	5.051	A
S ₃	4.719	B
S ₂	3.784	C

Cuadro 51. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de láminas de riego en los diámetros de las raíces en cm en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₂	5.25	A
d ₄	4.72	B
d ₁	4.65	B
d ₃	3.46	C

Cuadro 52. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de interacción sustratos y láminas de riego - en diámetros de las raíces en (cm) en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIAS DE MEDIAS
S ₁ d ₂	6.13	A
S ₃ d ₂	5.58	B
S ₁ d ₄	5.30	BC
S ₁ d ₁	5.15	BC
S ₃ d ₁	5.01	C
S ₃ d ₄	4.79	C
S ₂ d ₄	4.07	D
S ₂ d ₂	4.03	DE
S ₂ d ₁	3.78	DEF
S ₁ d ₃	3.63	DEF
S ₃ d ₃	3.49	EF
S ₂ d ₃	3.26	F

Respecto al diámetro promedio de las raíces de remolacha, el análisis de varianza demostró que existen diferencias significativas entre sustratos, láminas de riego e interacción entre sustratos y láminas (Cuadro 49).

La prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 50), estableció que los tres medios de cultivo son estadísticamente diferentes, presentando el mejor diámetro promedio la escoria volcánica con 5.05 cm. Este diámetro igual a los datos reportados por Gudiel (16), correspondiente para la variedad

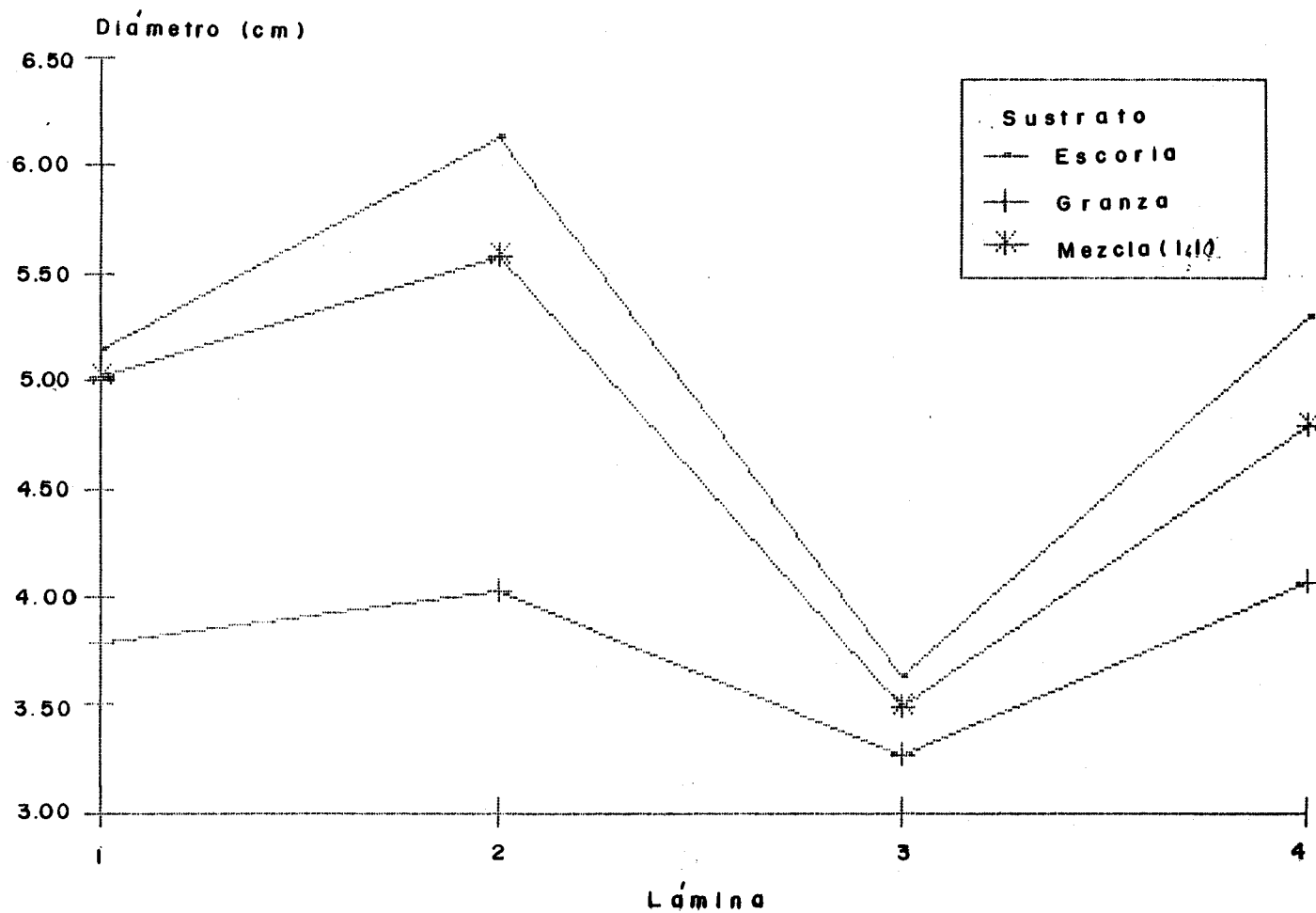


Fig. II - Efecto de sustratos y láminas de riego en el diámetro de las raíces (cm) de remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

Crosby egyptian cultivada bajo condiciones normales de suelo. La mezcla reportó un diámetro promedio de 4.72 cm, y la granza 3.78 cm, los cuales no superan los diámetros de la variedad de la remolacha utilizada.

Las características físicas de cada sustrato es lo que influyó notablemente en los diámetros, es decir, la escoria volcánica por su granulometría y forma redondeada de las partículas; por los espacios libres producidos por su porosidad permitiendo una fácil extracción del agua por la planta; por su fácil manejo al realizar las diferentes prácticas culturales (escardados, fertilización, aporco). Todas estas características le dieron una mejor estabilidad al cultivo, por lo que la escoria produjo los valores más altos de diámetro.

La granza produjo los diámetros más pequeños, esto debido al lento desarrollo del cultivo, influenciado notablemente por: su bajo intercambio catiónico, resistencia al movimiento del agua, por las diferencias de succión entre las plantas y la granza (3), siendo mayor en la granza, por su baja conductividad hidráulica, por la mala aireación que imposibilita el uso adecuado de nutrimentos y el agua (3). Todo esto produjo un crecimiento retardado del área foliar reduciendo la cantidad de fotosintatos producidos y su disponibilidad provocando un bajo desarrollo de éste.

La mezcla por poseer características intermedias de escoria y granza, su comportamiento fué más estable que la -

granza y menos que la escoria por lo que produjo diámetros intermedios de 4.72 cm.

La prueba de Duncan para láminas de riego (Cuadro 51), estableció que la lámina d_2 resultó ser la mejor con un diámetro promedio de 5.25 cm y es estadísticamente diferente al resto. d_4 y d_1 son estadísticamente iguales con 4.72 cm y 4.65 cm respectivamente, y d_3 que reportó el diámetro más pequeño con 3.46 cm.

El único diámetro que supera a los reportados por Gudiel (16), es la d_2 con 5.25 cm, las otras láminas no reportaron diámetros satisfactorios.

Básicamente la diferencia de diámetros en cuanto a láminas de riego lo originó las dosis de agua aplicadas, siendo la lámina d_2 con un volumen de agua más alto, provocó un mayor desarrollo de las plantas. La remolacha es un cultivo que demanda grandes cantidades de agua (4), por lo que la d_2 suplió eficazmente las necesidades hídricas originando una mayor superficie foliar y que incidió directamente en el engrosamiento de la raíz. Según Mela Mela (22) y Gros (15), una vez que las hojas han completado su desarrollo foliar se inicia el crecimiento de la raíz, los fotosintatos formados en las hojas se van acumulando en las raíces, razón por la cual se necesita tener muchas hojas que se desarrollen rápidamente y que permanezcan activas el mayor tiempo posible. La distribución de fotosintatos a toda la planta y en especial a las raíces es más eficiente cuando -

el contenido hídrico es óptimo; por lo que un déficit hídrico afecta la producción de fotosintatos y su distribución.

La lámina d_4 la cual es el testigo utilizado, que se aplicó en forma constante durante todo el período vegetativo (5 lt/día, fraccionado en 2-2-1), reportó un diámetro ligeramente mejor que d_1 , pero estadísticamente ambas láminas son iguales. Esa diferencia probablemente originada a la stress a que se sometió a las plantas con la lámina d_1 , ya que esta lámina varió según la fase vegetativa del cultivo según la ETC.

La lámina d_3 ($0.5 d_1$) reportó el diámetro más pequeño, esto producto del bajo desarrollo de la superficie foliar, como consecuencia de la limitada proporción del agua al cultivo. Según el Servicio de Conservación de Suelos (30), la fuerza (tensión) de retención del agua depende de la cantidad en que se encuentre en el suelo. Mientras menor sea la cantidad, mayor será la tensión retentiva. Esta fuerza originada por el bajo contenido de agua provocó retraso y/o bajo desarrollo en el crecimiento del cultivo y por ende bajo desarrollo de la raíz.

La prueba de Duncan para interacción entre sustratos y láminas de riego ($s \times d$) (Cuadro 52), en relación a los diámetros de las raíces, estableció que el tratamiento $S_1 d_2$ resultó ser el mejor con un diámetro de 6.13 cm, valor que supera notablemente a los reportados por Gudiel (16) y Agui-

lar (1).

Las interacciones S_3d_2 con 5.52 cm, S_1d_4 con 5.30 cm, S_1d_1 con 5.15 cm, son estadísticamente iguales; pero diferente a S_1d_2 . Estos diámetros también superan a los reportados por Gudiel (16).

La interacción escoria volcánica con la lámina dos produjo los mejores diámetros, lo que significa que la escoria permite por sus características ya mencionadas, que las plantas de remolacha hagan un uso eficiente del recurso -- agua, además contribuye a la degradación y absorción de los fertilizantes sólidos utilizados. Por tanto la conversión del agua en superficie foliar y por ende en mayores diámetros de la raíz de reserva es lo que hace satisfactorio el uso del sustrato escoria volcánica.

4.12. Peso seco de la raíz absorbente

Para el análisis de esta variable se tiene el peso de la raíz absorbente en base seca en gramos, sometidas a los diferentes tratamientos (Cuadro 53 y Fig. 12), análisis de varianza (Cuadro 54) y la prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 55).

Cuadro 53. Peso seco promedio de la raíz absorbente de remolacha en gr con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	TOTAL
S ₁	1.18	18.82
S ₂	0.28	4.45
S ₃	0.40	6.35
d ₁	0.55	6.55
d ₂	0.81	9.69
d ₃	0.61	7.35
d ₄	0.50	6.03
S ₁ d ₁	1.10	4.40
S ₁ d ₂	1.52	6.07
S ₁ d ₃	1.26	5.04
S ₁ d ₄	0.83	3.31
S ₂ d ₁	0.31	1.23
S ₂ d ₂	0.28	1.16
S ₂ d ₃	0.28	1.11
S ₂ d ₄	0.24	0.95
S ₃ d ₁	0.24	0.92
S ₃ d ₂	0.61	2.46
S ₃ d ₃	0.30	1.20
S ₃ d ₄	0.44	1.77

Cuadro 54. Análisis de varianza del peso seco promedio de la raíz absorbente de remolacha en gramos, con tres sustratos y cuatro láminas de riego.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos (s)	2	7.62	3.308	26.66**	4.26	8.02
Error (a)	9	1.29	0.143			
Láminas (d)	3	0.65	0.218	0.39 ^{ns}	2.96	4.60
s x d	6	0.71	0.118	0.43 ^{ns}	2.46	3.56
Error (b)	27	6.64	0.246			

ns : No significativo

** : Altamente significativo.

Cuadro 55. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de sustratos en peso seco de la raíz en gr; en cultivo hidropónico de remolacha, al 5% de significancia.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₁	1.176	A
S ₃	0.397	B
S ₂	0.273	B

Respecto al peso seco promedio de la raíz absorbente de remolacha, el análisis de varianza demostró que existen di-

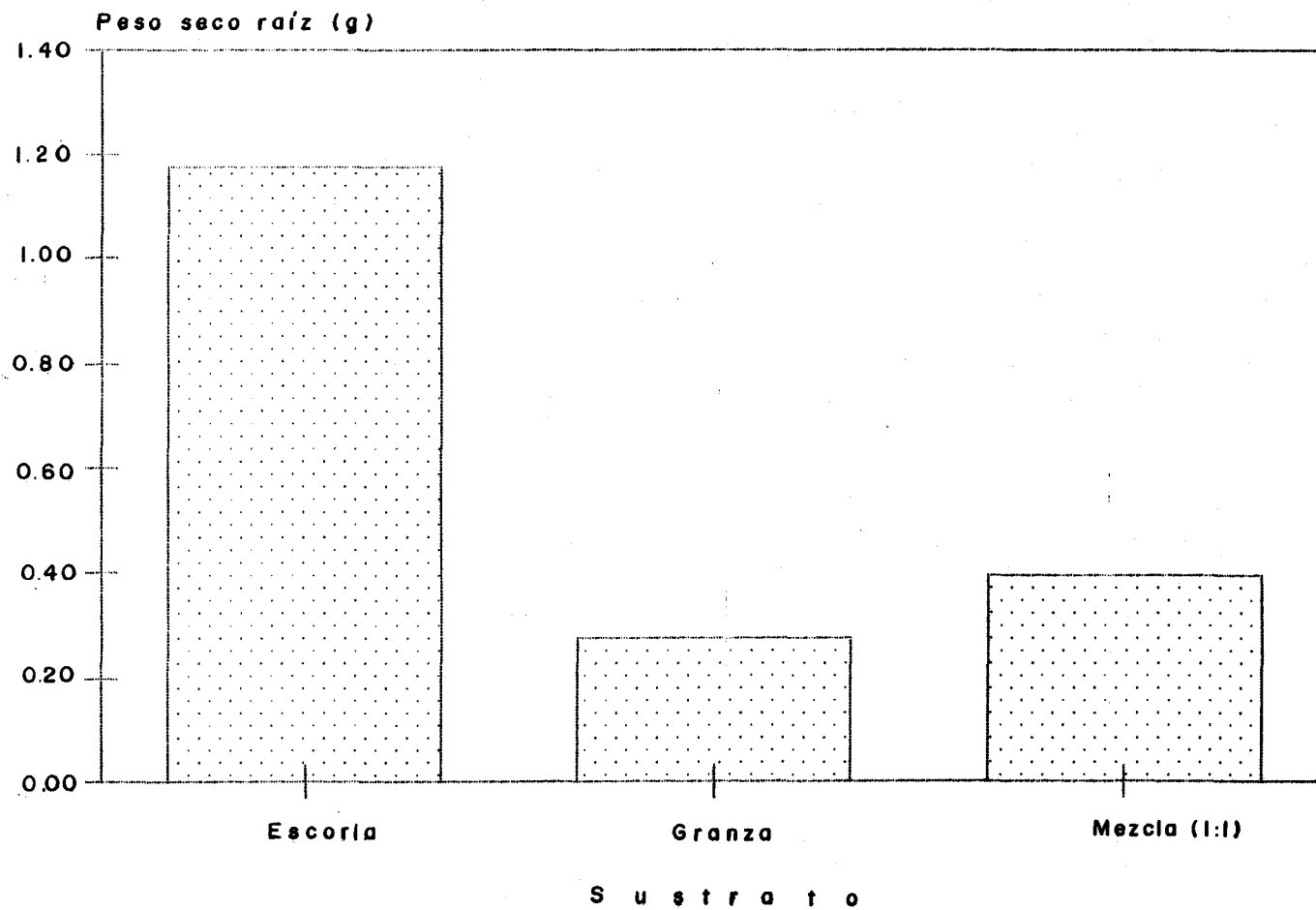


Fig.12 — Efecto de sustratos en peso seco de la raíz (gr) de remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian .

ferencias significativas entre sustratos. Que no existe - diferencias entre láminas, ni en interacción de sustratos y láminas de riego (Cuadro 54).

La prueba de Duncan para sustratos (Cuadro 55), estableció que existe diferencia significativa entre escoria volcánica y los sustratos granza de arroz y mezcla, reportando - la escoria un peso seco promedio de 1.18 gr y los sustratos mezcla y granza estadísticamente iguales con 0.40 gr y 0.28 gr respectivamente.

Estos resultados demuestran que en escoria el desarrollo radicular fue mayor, debido probablemente a la resistencia al desplazamiento de las raíces entre las partículas, como consecuencia del alto grado de porosidad. Según el -- Servicio de Conservación de Suelos (USA) (30), la estructura del suelo influye en el grado en que el aire y el agua penetran y se mueven en el suelo. Asimismo, afecta en cuanto a la penetración de la raíz.

Un mayor desarrollo radical significa mayor volumen abarcado de sustrato y por lo tanto mayor absorción de agua y nutrimentos.

4.13. Clasificación por el número y peso según el diámetro de la raíz carnosa

Para efecto de la clasificación de las remolachas obtenidas, se determinó en base a porcentajes en relación al nú

mero de éstas (Cuadro 56 y Fig. 13 y 14); y peso (Cuadro 57), según el diámetro, las cuales se clasificaron por clases de la siguiente manera: Clase 1 (< 4 cm), clase 2 (4 - 4.99 cm), clase 3 (5 - 5.59 cm) y clase 4 (> 6 cm).

Los datos reportan en relación al número por el efecto de sustrato (Cuadro 56 y Fig. 13), que en escoria se obtuvieron más remolachas de las clase 3 y 4; que por el contrario en granza de arroz el 75.98% resultó ser clase 1 y no reportó clase 4; en mezcla los porcentajes de las cuatro clases presentaron el mismo comportamiento de la escoria pero con porcentajes menores. En relación al número por el efecto de láminas de riego (Cuadro 56 y Fig. 14), las láminas d_1 y d_4 reportaron la misma tendencia; la d_3 de peor calidad reportó un 88.61% clase 1; la de d_2 con el mejor comportamiento con el porcentaje más bajo de clase 1 del 38.79% y el porcentaje más alto de clase 4 del 10.57%.

En relación al peso según el diámetro por el efecto de sustratos (Cuadro 57), que en escoria el más alto porcentaje de 30.32% correspondió a la clase 3, que en la granza la clase 1 reportó el más alto con 56.42% del peso total, que en mezcla la clase 1 y clase 2 reportaron los más altos porcentajes con 30.76% y 31.95%. En relación al peso según el diámetro por el efecto de láminas de riego (Cuadro 57), se reportó que las láminas d_1 y d_4 mostraron el mismo comportamiento en los pesos; que la d_2 reportó los mejores porcentajes con 33.08 para la clase 3 y 30.05 para la clase 4;

que la d_3 el 76.51% de los pesos fueron clase 1.

Considerando ambos análisis de número de remolachas y sus correspondientes pesos, se puede decir que en base a la clasificación hecha según el diámetro, que los porcentajes obtenidos demuestran que el sustrato escoria volcánica y la lámina d_2 ($1.5 d_1$) es sustancialmente de mejor calidad, cuyo análisis correspondiente redonda en el elaborado en el ítem de diámetro de las raíces y donde se explica el comportamiento de los sustratos y las láminas respecto al diámetro de las remolachas.

Cuadro 56. Porcentaje en relación al número de remolachas según el diámetro.

M E D I A S	C L A S E			
	1	2	3	4
Escoria (S_1)	49.93	26.36	17.15	6.56
Granza (S_2)	75.98	18.83	4.7	0.49
Mezcla (S_3)	54.58	28.47	13.46	3.49
Lámina d_1	57.91	27.58	12.89	1.62
Lámina d_2	38.79	30.66	19.97	10.57
Lámina d_3	88.61	10.39	0.90	0
Lámina d_4	55.35	29.78	13.01	1.86

CLASE : 1 : < 4 2 : 4-499 3 : 5-599 4 : > 6

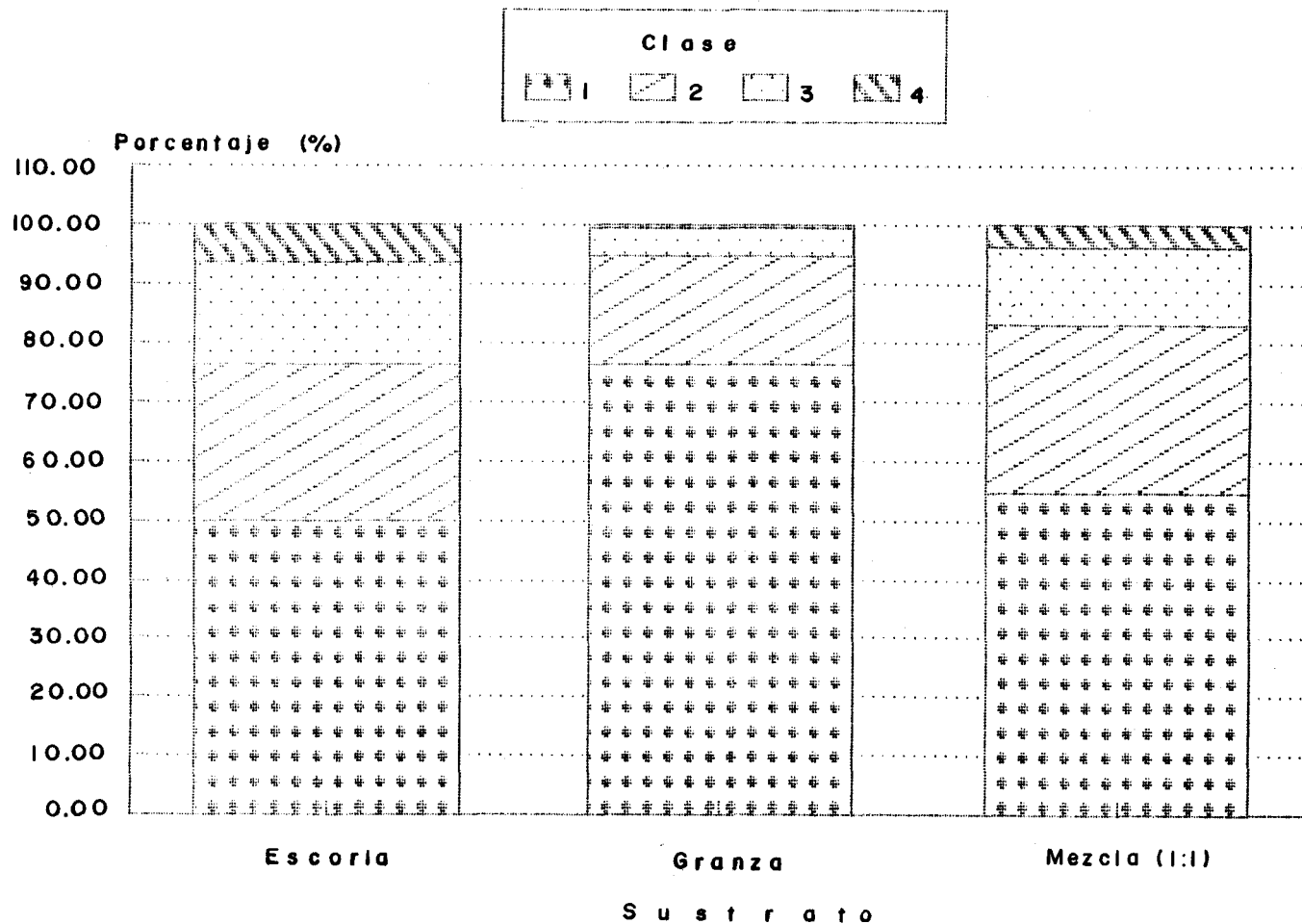


Fig. 13 - Efecto de los sustratos en la clase según el diámetro (cm) de remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

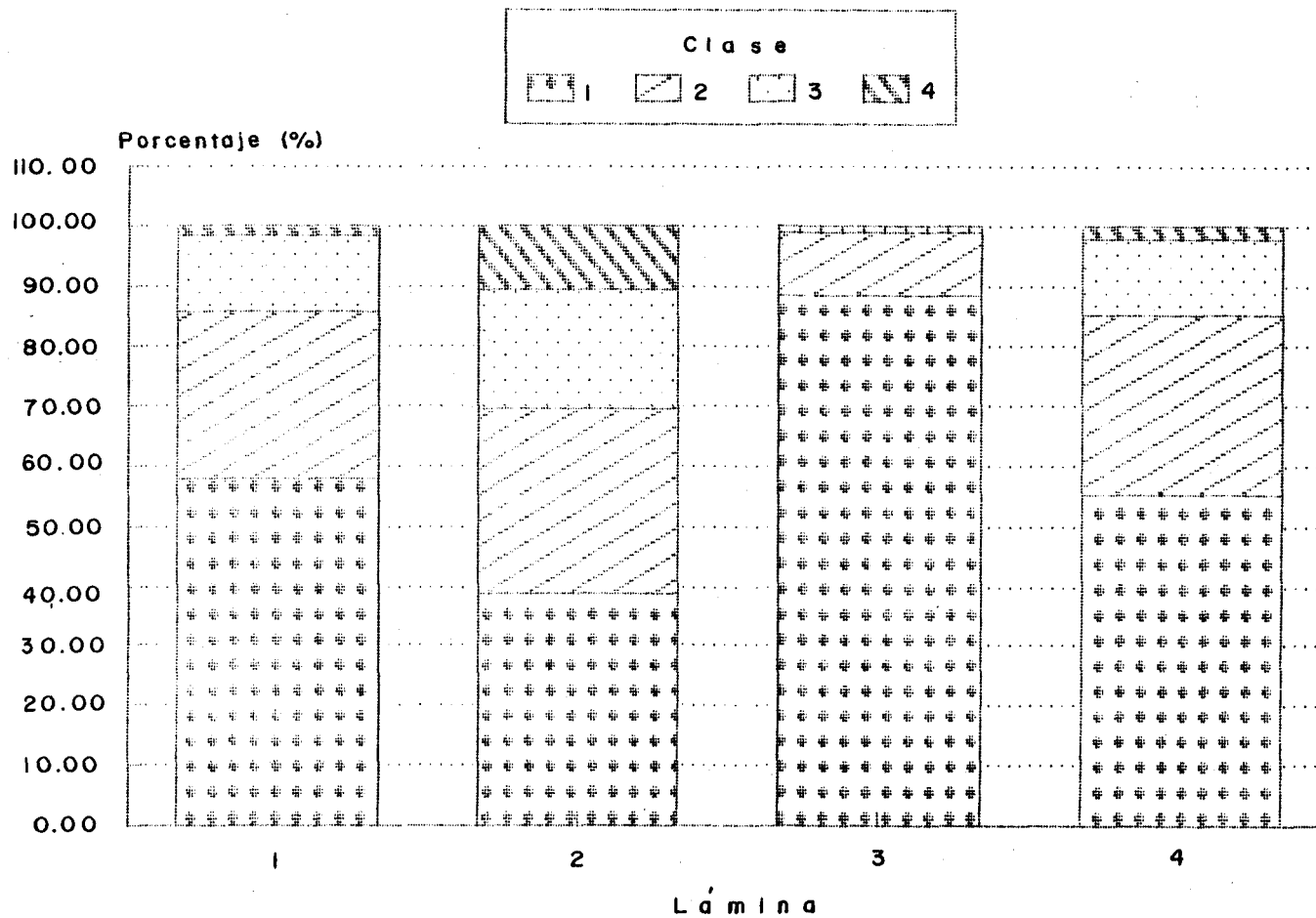


Fig. 14 - Efecto de láminas de riego en la clase según el diámetro (cm) de remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egyptian.

Cuadro 57. Porcentaje en relación al peso según el diámetro de raíces de remolacha.

M E D I A S	C L A S E			
	1	2	3	4
Escoria (S_1)	19.4	28.45	30.32	21.83
Granza (S_2)	56.42	26.74	10.56	6.28
Mezcla (S_3)	30.76	31.95	26.70	10.59
Lámina d_1	34.38	33.10	27.54	4.98
Lámina d_2	16.6	20.27	33.08	20.05
Lámina d_3	76.51	20.47	3.02	0
Lámina d_4	34.94	34.82	22.47	7.77

Clase : 1 : < 4 cm
 2 : 4-4.99 cm
 3 : 5-5.99 cm
 4 : > 6 cm

4.14. Grados brix

Esta variable se analizará con los grados brix en porcentaje extraídos en los bulbos de remolacha de los diferentes tratamientos, para lo cual se cuenta con el cuadro de medias (Cuadro 58 y Fig. 15), análisis de varianza (Cuadro 59), prueba de Duncan para láminas (Cuadro 60), prueba de Duncan

para interacción sustrato-lámina (Cuadro 61).

Cuadro 58. Medias de grados brix de los bulbos de remolacha en (%) al final del ciclo vegetativo usando tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	T O T A L
S ₁	1.29	20.69
S ₂	1.30	20.81
S ₃	1.39	22.31
d ₁	1.32	15.95
d ₂	1.15	13.86
d ₃	1.52	18.24
d ₄	1.31	15.76
S ₁ d ₁	1.41	5.53
S ₁ d ₂	0.80	3.44
S ₁ d ₃	1.57	6.27
S ₁ d ₄	1.34	5.35
S ₂ d ₁	1.25	4.35
S ₂ d ₂	1.33	5.33
S ₂ d ₃	1.32	5.29
S ₂ d ₄	1.30	5.20
S ₃ d ₁	1.33	5.33
S ₃ d ₂	1.27	5.09
S ₃ d ₃	1.67	6.68
S ₃ d ₄	1.30	5.21

Cuadro 59. Análisis de varianza de grados brix en porcenta
je.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustratos	2	0.10	0.051	0.44 ^{ns}	4.26	8.02
Error (a)	9	1.05	0.117			
Láminas	3	0.80	0.268	6.06**	2.96	4.60
Int. s x d	6	0.74	0.123	2.78*	2.46	3.56
Error (b)	27	1.20	0.044			

** : Altamente significativo

* : Significativo al 5% de significancia.

Cuadro 60. Prueba de Duncan para diferencia entre medias de
láminas de riego en cultivo hidropónico de remo-
lacha al 5% de significancia.

LAMINAS	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
d ₃	1.52	A
d ₁	1.33	B
d ₄	1.31	B
d ₂	1.15	B

Cuadro 61. Prueba de Duncan para diferencia entre medias
de tratamientos en cultivo hidropónico de remo-
lacha al 5% de significancia.

TRATAMIENTO	MEDIAS	DIFERENCIA DE MEDIAS
S ₃ d ₃	1.67	A
S ₁ d ₃	1.57	AB
S ₁ d ₁	1.41	AB

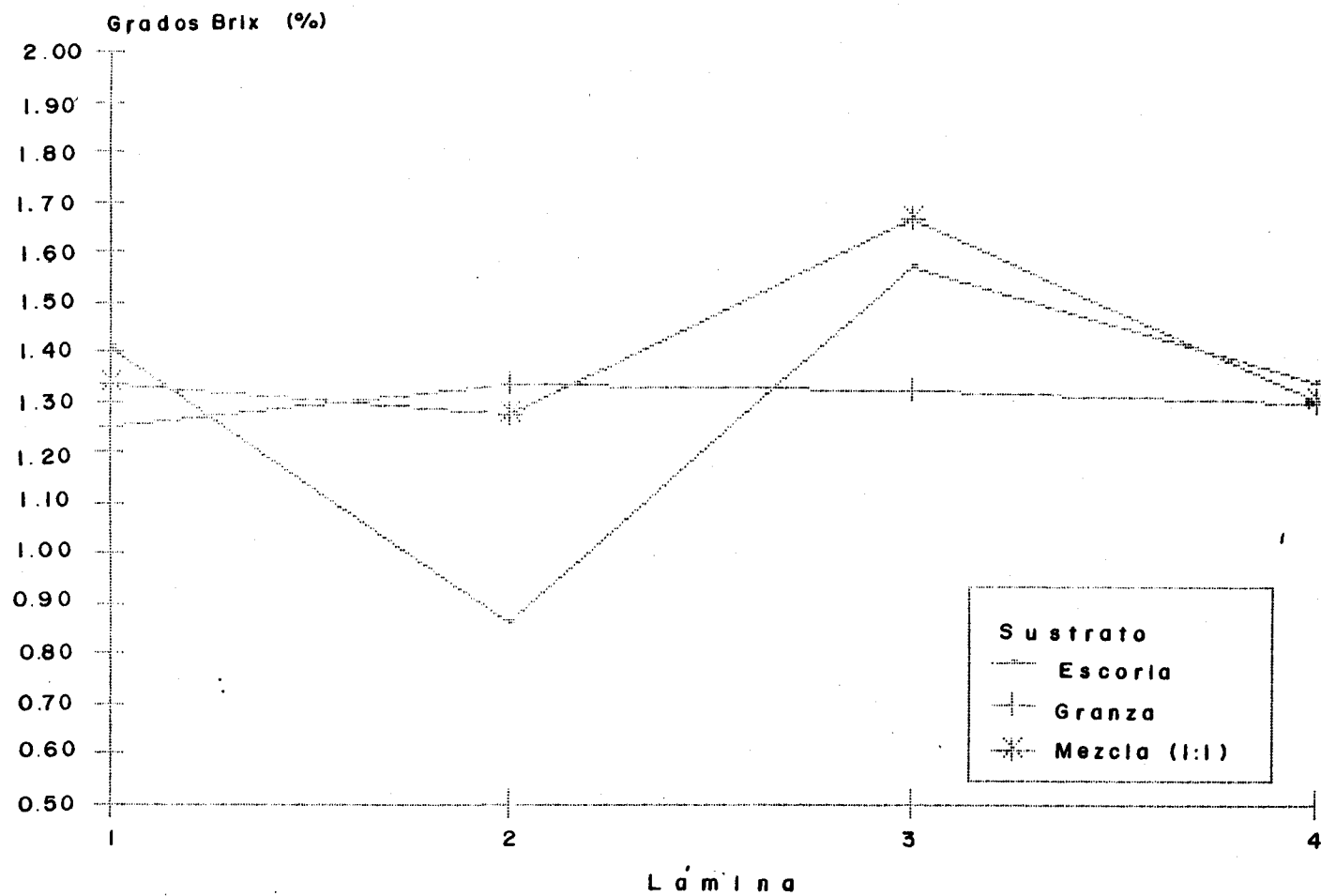


Fig. 15. - Efecto de sustratos y láminas de riego en Grados Brix (%) en remolacha (Beta vulgaris), var. Crosby egiptian.

Continuación Cuadro 61 .

TRATAMIENTO	MEDIA	DIFERENCIA DE MEDIAS
$S_1 d_4$	1.34	B
$S_2 d_2$	1.33	B
$S_3 d_1$	1.33	B
$S_2 d_3$	1.32	B
$S_3 d_4$	1.30	B
$S_2 d_4$	1.30	B
$S_3 d_2$	1.27	B
$S_2 d_1$	1.25	B
$S_1 d_2$	0.86	C

El análisis de varianza demostró que no hay diferencia significativa en sustratos en la variable grados brix, pero sí hay diferencia altamente significativas para las láminas de riego aplicadas y diferencia también en la interacción sustrato-lámina (Cuadro 59).

La prueba de Duncan demuestra que la diferencia en láminas es debida a la aplicación de déficit de agua a un 50% de la lámina d_1 ; al mismo tiempo demuestra que la lámina con un 50% más que la lámina d_1 muestra una mayor dilución de los azúcares, pero esa diferencia no es significativa respecto a la lámina d_1 y d_4 (Cuadro 60).

El déficit hídrico dentro de la planta, genera una mayor concentración de sólidos (azúcares).

La prueba de Duncan para tratamientos demostró que el tratamiento S_3d_3 (mezcla + $0.5 d_1$) presenta mayor contenido de azúcares; es de hacer notar además que los tratamientos con lámina $d_3 = 0.5 d_1$ son los que presentan porcentajes superiores de grado brix. (Cuadro 61).

Por otra parte el tratamiento S_1d_2 (escoria + $1.5 d_1$) presenta el menor valor en porcentaje de grados brix que es estadísticamente diferente a todos los tratamientos, a la vez que presentaba los mayores diámetros de bulbo de remolacha (Cuadro 61).

Según Miller y Aarstad (23), en 1972 y 1973 con un déficit de riego diario de 68% y 90% de la evaporación obtuvieron diferencias no significativas entre los tratamientos pero a su vez tendió a ser más alto el contenido de azúcar en el tratamiento de mayor déficit de irrigación. La reducción de los rangos de riego de 100% de la evaporación a 50%, los porcentajes de azúcar fueron significativamente disminuidos por el déficit de riego y los rendimientos de azúcar fueron iguales para todos los tratamientos. El azúcar producida por unidad de agua usada durante el período se incrementó, así como el rango de irrigación disminuyó. Así, con déficit de riego de alta frecuencia la misma cantidad de -- azúcar puede ser producida.

4.15. Número de plantas por módulo

Para el análisis de esta variable se cuenta con el cuadro de medias (Cuadro 62) y el análisis de varianza (Cuadro 63). Con datos tomados al final del ciclo vegetativo del cultivo.

Cuadro 62. Medias del número de plantas por metro cuadrado al final del ciclo vegetativo en tres sustratos y cuatro láminas de riego.

TRATAMIENTO	MEDIAS	T O T A L
S ₁	57.94	927.00
S ₂	52.19	835.00
S ₃	56.31	901.00
d ₁	55.83	670.00
d ₂	55.33	664.00
d ₃	54.50	654.00
d ₄	56.25	675.00
S ₁ d ₁	58.50	234.00
S ₁ d ₂	56.75	227.00
S ₁ d ₃	58.25	233.00
S ₁ d ₄	58.25	233.00
S ₂ d ₁	51.00	204.00
S ₂ d ₂	52.00	208.00
S ₂ d ₃	53.00	212.00
S ₂ d ₄	52.75	211.00
S ₃ d ₁	58.00	232.00
S ₃ d ₂	57.25	229.00
S ₃ d ₃	52.25	209.00
S ₃ d ₄	57.75	231.00

Cuadro 63. Análisis de varianza de número de plantas por metro cuadrado al final del ciclo vegetativo.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.Calc.	F(0.05)	F(0.01)
Sustrato (s)	2	281.17	140.583	3.68 ^{ns}	4.26	8.02
Error (a)	9	343.56	38.174			
Lámina	3	20.40	6.799	0.82 ^{ns}	2.96	4.60
Int. s x d	6	86.17	14.361	1.73 ^{ns}	2.46	3.56
Error (b)	27	224.69	8.322			

Respecto al número de plantas por módulo se demostró - mediante el análisis de varianza que no existe diferencia - significativa entre sustratos; láminas ni entre tratamientos, pero entre sustratos se nota una leve diferencia a favor del sustrato escoria volcánica sobre la mezcla y de ésta sobre la granza de arroz (Cuadro 63).

En láminas puede observarse en el cuadro de medias (Cuadro 62), que los resultados son estadísticamente iguales y que las variaciones son no significativas.

Entre tratamientos puede notarse una ligera variación, sobre todo al comparar los resultados de escoria volcánica con sus respectivas lámina y los resultados de granza de arroz (Cuadro 62).

4.16. Análisis de correlación

Para determinar el grado de correlación que existe entre variables consideradas de importancia, se realizó el correspondiente análisis estadístico. En el Cuadro 64 se presenta cuatro correlaciones obtenidas. A continuación se presenta cuatro resultados de análisis de correlación.

1. La correlación entre el peso seco de la raíz absorbente y el peso de raíces carnosas, es de 0.457 al 0.1% de probabilidad, por lo que el grado de correlación es altamente significativo.
2. La correlación entre el peso seco de la raíz absorbente y el diámetro de la raíz carnosa es de 0.379 al 5% de probabilidad, por lo que el grado de correlación es significativo.
3. La correlación entre el diámetro de la raíz carnosa y el peso de la raíz carnosa es de 0.96 al 1% de probabilidad, por lo que el grado de correlación entre las variables es altamente significativo.
4. La correlación entre el peso seco de la raíz absorbente y la altura a los 50 días es de 0.345 al 5% de probabilidad, por lo que el grado de correlación es significativo.

Cuadro 64. Grado de correlación entre variables en estudio en la producción hidropónica de remolacha.

	Peso raíz carnosa	Peso raíz absorbente
Peso de la raíz absor- bente	0.457**	
Diámetro de la raíz carnosa	0.96**	0.379*
Altura a los 50 días		0.345*

** Altamente significativa

* Significativo.

5. CONCLUSIONES

- El sustrato escoria volcánica roja superó a la granza de arroz y la mezcla (escoria -granza), en el desarrollo de la remolacha (*Beta vulgaris*) var. Crosby egyptian utilizando el sistema hidropónico.
- Debido a las características físicas de la escoria volcánica tales como: disposición de las partículas, estructura (granular), peso y densidad del sustrato, permitieron una mayor estabilidad, beneficiando así en un mejor desarrollo del cultivo más que la mezcla y la granza de arroz.
- La mezcla por poseer características físicas intermedias entre escoria y granza superó al sustrato granza pero no logró superar la escoria volcánica.
- La granza de arroz como sustrato no dió buenos resultados en el desarrollo del cultivo, debido a su disposición laminar, su incontinuidad de las partículas, su bajo intercambio catiónico y su excesiva retención de humedad. Esta responde mejor a fertilizantes foliares que a fertilizantes sólidos.
- Las características físicas de los sustratos no influyeron en la germinación de la semilla. Pero las láminas 5 lt/día/m^2 (d_4) y 6.54 (lt/día/m^2 (d_2) de la fase inicial produjo los mejores porcentajes de germinación.

- Para los primeros trece días de crecimiento del cultivo bastaría aplicar láminas d_3 (escoria : 2.18 lt/día, granza : 1.98 lt/día/m² y mezcla : 2.08 lt/día/m², que a la vez evitaría la incidencia de enfermedades fungosas.
- En la fase de desarrollo del cultivo respondió mejor la escoria volcánica (S_1) con la aplicación de la lámina d_2 (7.11 lts/día/m², produciendo mayor número de hojas y altura de planta.
- En la fase de mediados y finalización del cultivo funcionó mejor la escoria volcánica (S_1) con la aplicación de la lámina d_2 (mediados 7.91 lt/día/m², finalización 7.53 lt/día/m²), produciendo mayor número de hojas y altura de planta).
- Con relación a los diámetros y peso de la raíz carnosa, el tratamiento que reportó los mejores resultados es la escoria volcánica (S_1) con la aplicación de la lámina de riego d_2 .
- Con relación al peso seco de la raíz absorbente resultó que existe diferencia significativa entre sustratos, reportando la escoria volcánica el mayor peso seco.
- En cuanto a la clasificación por el número y peso según el diámetro de la raíz carnosa, los mayores porcentajes de las mejores clases de remolacha resultaron ubicarse en las obtenidas en el sustrato escoria volcánica y aplicando lámina d_2 .

- Los valores más altos de grados brix corresponden a aquellos tratamientos en los cuales la aplicación del agua eran las menores (d_3) e inversamente en aquellas donde las láminas más grandes (d_2) reportaron valores bajos de grados brix.

- Con relación al número de plantas por metro cuadrado al final del ciclo vegetativo resultó ser no significativo para sustratos, láminas e interacción sustrato-lámina.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la escoria volcánica como sustrato para los cultivos hidropónicos, por sus buenas características físicas y su manejabilidad al realizar las labores de cultivo.
- Se recomienda como segunda opción el uso de la mezcla escoria volcánica y granza de arroz para la producción hidropónica de hortalizas.
- No se recomienda el uso de la granza de arroz como sustrato por su inestabilidad física, dificultad en su manejo y su alta retención de humedad.
- Utilizar para los primeros trece días: 2.18 lt/día/m² de los 13 a los 34 días : 7.11 lt/día/m² de los 34 a los 51 días: 7.91 lt/día/m², y de los 51 a los 64 días: 7.53 lt/día /m². Todos estos valores utilizando escoria volcánica.
- Realizar otras investigaciones acerca de las necesidades hídricas de otros cultivos para la implementación de la hidroponía.
- Realizar investigaciones para el eficiente uso del recurso hídrico implementando el uso de sistemas artesanales de riego con fines hidropónicos.

- Realizar más investigaciones con los sustratos mezcla (escoria-granza) y granza de arroz, a fin de encontrar la proporción que permita el eficiente uso de estos sustratos.

7 . BIBLIOGRAFIA

1. AGUILAR, W.; MORENO C., M.E.; NIETO M., C.A. 1992. - Cultivo de remolacha (Beta vulgaris) var. Crosby - egyptian en sustratos de escoria volcánica roja y granza de arroz (Oryza sativa L.) utilizando fertilizantes tradicionales. Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salv. Universidad de El Salvador. 146 P.
2. BROUWER, C. 1987. Introducción al riego, manejo de agua de riego. Roma, Italia, FAO. P. 32, 33, 57, 58.
3. CASSERES, E. 1966. Producción de hortalizas. Lima, Perú, IICA. P. 178-182.
4. CENTRO LAS GAVIOTAS. 1989. Manual de hidroponía social, una alternativa apropiada para generación de ingreso a través de una tecnología de punta escalonada. Cali, Colombia, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 73 P.
5. COLJAP INDUSTRIA AGROQUIMICA. 1991. Hidroponía; cultivo sin suelo. Aprenda fácil cultivos hidropónicos. (Col.) Vol. 1: 7-27.
6. _____. 1991. Los sustratos; aprenda fácil cultivos hidropónicos. (Col.). Vol. 3: 41-56.
7. _____. 1991. Los recipientes; aprenda fácil cultivos hidropónicos. (Col.) Vol. 4: 57-72.

8. CULTIVOS HIDROPONICOS LTDA. 1989. Manual hidropónico: una huerta en su casa. Bogotá, Colombia. S.N. 76 P.
9. CURY, R. 1941. Mineralogía y geología; trabajos prácticos clave mineralógicos. 4 ed. Buenos Aires, Argentina. L.J. Rosso. P. 223-235.
10. DOORENBOS, J. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. P. 5, 6, 59-63, 92-94.
11. DOUGLAS, J.S. 1972. Hidroponía; como cultivar sin tierra. 4 ed. Buenos Aires, Argentina. El Ateneo. P. 1-60, 129-133.
12. FLORES, R.D. 1985. Disponibilidad de humedad del suelo en El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Publicación No. 30. 85 P.
13. FOSSATI, C. 1986. Como practicar el hidrocultivo; sorprendentes resultados del cultivo sin tierra en soluciones de agua. Trab. M. Luz González. 2 ed. Madrid, España. EDAF. P. 13-18, 25-38.
14. GARCIA, F.J. 1971. Cultivos herbáceos. Zaragoza, España. AGROCIENCIA. P. 284-291, 296-303.
15. GROSS, A. 1976. Abonos, guía práctica de la fertilización. Trad. Alonso Domínguez Vivancos. 6 ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. P. 337-381.

16. GUDIÉL, U.M. 1987. Manual agrícola Super B. 6 ed. Guatemala. Super B. P. 175-178.
17. GUERRERO, G.A. 1977. Cultivos herbáceos extensivos. Madrid, España. Mundi-Prensa. P. 145-155.
18. ISRAELSEN, O.W. 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. Barcelona, España. Reverti. P. 144-166, 224-250.
19. JAPON, A.J. 1984. Cultivo extensivo de la remolacha de mesa. Madrid, España. Ministerio de Agricultura-Pesca y Alimentación. Hojas Divulgadoras No. 18. P. 1-2, 8-10, 15.
20. KRAMER, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas; una síntesis moderna. Trad. Leonor Tejada, México, D.F. EDUTEX, S.A. P. 34, 41, 104, 165, 208.
21. LA PATRIA. 1989. Cultivemos; la hidroponía popular. Manizales, Colombia. Vol. 25:3-23.
22. MELA, M.P. 1963. Cultivos de regadío. Zaragoza, España. AGROCIENCIA. P. 425-458, 531-550.
23. MILLER, E.D.; AARSTAD, S.J. 1976. Yield and sugar content of sugarbeets as affected by deficit high frequency irrigation. Agronomy Journal. USA. Vol. 68 No. 2. P. 231-239.
24. ORESTES, C. 1943. Geología; Curso elemental de historia natural. 9 ed. Buenos Aires, Argentina. López. P. 260-267, 276-279.

25. RESH, H.W. 1987. Cultivos hidropónicos; nuevas técnicas de producción. Trad. José Santos Caffarena. 2 ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. P. 25-76, 96-118.
26. RICHARDS, L.A. 1954. Suelos salinos y sódicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México. Manual No. 60. P. 75-88.
27. ROBINSON, G.W. 1967. Los suelos; su origen, constitución y clasificación. Trad. José Luis Amoros. - Barcelona, España. OMEGA. P. 248-249, 254.
28. RODRIGUEZ, C.; DIAZ, O. 1991. Manual para cultivos hidropónicos. Bogotá, Colombia. Fondo Rotatorio Editorial. Tecnología Apropriada y Participación Comunitaria. P. 41-52, 71-91.
29. RODRIGUEZ, R.O.; ARMAS, O.H. 1989. Hidroponía tropical. Bogotá, Colombia. VADELL. P. 36-135.
30. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS, DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. 1974. Relación entre suelo-planta-agua. Trad. Emilio Avila de la Torre. México, D.F. DIANA, S.A. P. 17-18, 22, 32, 60.