



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
" I Z T A C A L A "

EVALUACION DE LAS RESPUESTAS MORFOFISI-  
OLOGICAS DE AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L.  
SOMETIDO A DOS NIVELES DE SEQUIA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

GUMERCINDO H. DE LA CRUZ GUZMAN



AGOSTO, 1991

DEDICATORIAS

A MI PADRE:

TRINIDAD DE LA CRUZ A. (Q.E.D.)  
POR SU SINCERO APOYO Y SABIAS ENSEÑANZAS

A MI MADRE:

JOVITA GUZMAN R.  
POR SU PACIENCIA Y COMPRENSION

A.

SILVIS

POR TODAS LAS ACCIONES MARAVILLOSAS QUE DE ELLA RECIBI

A MIS HERMANOS:

JAI ME  
YOLANDA  
ELIDIA  
LEODEGARIO  
MARILU

POR SU AYUDA A MI FORMACION PROFESIONAL

A Cirenio y Dionisio, por su apoyo durante mi formación

A MIS AMIGOS:

VIRGILIO, GUADALUPE, ENRIQUE, IREM, ELID, MARTIN, JORGE, DANIEL Y  
ARACELI

A:

LA GENTE SENCILLA QUE VIVE DE... Y POR LA NATURALEZA

## AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Fisiología vegetal-Biología celular por las facilidades brindadas para las evaluaciones de éste trabajo.

Al Jardín Botánico-Invernadero y al P. de B. Edmundo Raya C. por el espacio cedido para el desarrollo del diseño experimental.

A la Coordinación de Biología por su apoyo en el manejo y procesamiento de datos.

Al biólogo Jose Luis Andrade T. y al laboratorio de Fisiología vegetal de la U.A.CH. por su colaboración en la medición de potencial hídrico.

Al M. en C. Carlos Acosta Z. quien proporcionó las semillas y algunas sugerencias para la realización de esta investigación.

Al Biólogo Alberto Arriaga Frías quien siempre fué más que un excelente director, un guía, un amigo.

### A los profesores:

M. en C. Ernesto Aguirre León  
Biol. Gerardo Ortiz Montiel  
Biol. Manuel Mandujano Piña  
Biol. Roberto Moreno Colín

Por su valioso apoyo en los comentarios y sugerencias para una mejor presentación de éste trabajo.

Al Biol. Angel Durán D. por su contribución al análisis de componentes principales.

Al Profr. Alfredo Henández Bolaños por su participación en el diseño gráfico.

A todos los que contribuyeron para la realización de esta investigación.

# CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE ANEXOS.....	vii
ABREVIATURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCION.....	01
II. REVISION DE LITERATURA.....	03
2.1 EL FACTOR HIDRICO.....	03
2.1.1 Agua aprovechable por la planta.....	03
2.2 RESISTENCIA A SEQUIA.....	04
2.2.1 Aspectos generales.....	04
2.2.2 Resistencia ontogenética y filogenética....	04
2.2.3 Conceptos y clasificación de resistencia a sequía.....	04
2.2.4 Escape a la sequía.....	05
2.2.5 Tolerancia a la sequía con alto potencial hidrico en el tejido.....	05
2.2.6 Tolerancia a la sequía con bajo potencial hidrico en el tejido.....	06
2.3 RESPUESTAS MORFOLOGICAS Y FISIOLÓGICAS AL STRESS HIDRICO.....	06
2.3.1 Cambios morfológicos.....	07
2.3.1.1 Area foliar y desprendimiento de hojas.....	07
2.3.1.2 Diámetro del tallo.....	07
2.3.1.3 Volumen de raíces y razón vástago/raíz.....	08
2.3.2 Cambios fisiológicos.....	08
2.3.2.1 Cera cuticular y comportamiento de estomas.....	08
2.3.2.2 Transpiración y fotosíntesis.....	10
2.3.2.3 Contenido relativo de agua.....	11
2.3.2.4 Potencial hídrico.....	12
2.4 EL AMARANTO.....	13
2.4.1 Breve historia del cultivo.....	13
2.4.2 Importancia del Amaranto como fuente de alimentación.....	13
2.4.3 Distribución y ecología.....	15

2.4.4	Algunas características agronómicas.....	15
2.4.5	Fertilización y suelo.....	16
2.4.6	Aspectos morfológicos y fisiológicos del Amaranto.....	17
2.4.6.1	Efecto de la deficiencia de humedad sobre <i>A. hypochondriacus</i> L.....	17
III.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	22
IV.	METODOLOGIA.....	23
4.1		
4.1.1	Sitio de trabajo.....	23
4.1.2	Material biológico.....	23
4.1.3	Sustrato.....	23
4.1.4	Determinación del porcentaje de humedad a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente.....	23
4.1.5	Ajuste de la humedad del suelo en las unidades experimentales.....	23
4.1.6	Siembra, distribución y arreglo de las unidades experimentales.....	24
4.2	EVALUACIONES MORFOLOGICAS Y FISIOLÓGICAS.....	25
4.2.1	Transpiración.....	25
4.2.2	Contenido relativo de agua.....	25
4.2.3	Ceras.....	26
4.2.4	Potencial hídrico.....	26
4.2.5	Comportamiento del número de estomas.....	26
4.2.6	Área foliar, incluyendo hojas caídas.....	26
4.2.7	Diámetro del tallo.....	27
4.2.8	Volumen de raíces.....	27
4.2.9	Razón vástago/raíz.....	27
V.	RESULTADOS.....	28
VI.	DISCUSION.....	34
6.1	VARIABLES RELACIONADAS CON EL AREA FOLIAR.....	36
6.1.1	Área foliar.....	36
6.1.2	Área foliar específica.....	38
6.1.3	Relación del área foliar.....	40
6.1.4	Duración del área foliar.....	44
6.2	VARIABLES RELACIONADAS CON LA TRANSPIRACION.....	45
6.2.1	Comportamiento del número de estomas.....	45
6.2.2	Transpiración.....	47
6.2.3	Contenido relativo de agua.....	49
6.2.4	Potencial hídrico.....	51
6.3	VARIABLES RELACIONADAS CON LA BIOMASA.....	53
6.3.1	Diámetro del tallo.....	53

6.3.2	Volumen de raíces.....	55
6.3.3	Distribución de materia seca (peso seco de hojas, tallo y raíces).....	59
6.3.4	Peso seco total.....	63
6.3.5	Razón vástago/raíz.....	65
6.4	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	68
6.4.1	Interpretación de componentes principales...	77
6.5	ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA.....	82
6.5.1	Espectro de variación fisiológica, primera evaluación.....	83
6.5.2	Espectro de variación fisiológica, segunda evaluación.....	86
6.5.3	Espectro de variación fisiológica, tercera evaluación.....	89
6.5.4	Espectro de variación fisiológica, cuarta evaluación.....	92
6.5.5	Espectro de variación fisiológica, quinta evaluación.....	95
VII.	CONCLUSIONES.....	98
VIII.	APORTACIONES FINALES.....	102
IX.	LITERATURA CONSULTADA.....	103
X.	ANEXOS.....	106

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el área foliar.....	37
2.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el área foliar específica.....	39
3.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre la relación del área foliar.....	41
4.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre la duración del área foliar.....	43
5.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el número de estomas.....	46
6.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre la transpiración.....	48
7.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el contenido relativo de agua.....	50
8.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el potencial hídrico.....	52
9.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el diámetro del tallo.....	54
10.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el volumen de raíces.....	56
11.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco de hojas.....	58
12.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco del tallo.....	60
13.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco de raíces.....	62
14.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco total.....	64
15.	Efecto de la deficiencia de humedad sobre el índice vástago/raíz.....	66
16.	Gráfica de componentes principales, 100% de H.A.....	70
17.	Gráfica de componentes principales, 60% de H.A.....	73
18.	Gráfica de componentes principales, 20% de H.A.....	76



19.	Espectro de variación fisiológica de las variables de biomasa, primera evaluación.....	85
20.	Espectro de variación fisiológica de las variables de biomasa, segunda evaluación.....	88
21.	Espectro de variación fisiológica de las variables de biomasa, tercera evaluación.....	91
22.	Espectro de variación fisiológica de las variables de biomasa, cuarta evaluación.....	94
23.	Espectro de variación fisiológica de las variables de biomasa, quinta evaluación.....	97

## INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1.	Resultados de las variables de respuesta evaluadas, 100% de H.A.....	28
2.	Resultados de las variables de respuesta evaluadas, 100% de H.A.....	29
3.	Resultados de las variables de respuesta evaluadas, 60% de H.A.....	30
4.	Resultados de las variables de respuesta evaluadas, 60% de H.A.....	31
5.	Resultados de las variables de respuesta evaluadas, 20% de H.A.....	32
6.	Resultados de las variables de respuesta evaluadas, 20% de H.A.....	33
7.	Promedios obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación para cada variable de respuesta.....	34
8.	Promedios obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación para cada variable de respuesta.....	35
9.	Variables de respuesta asociadas significativamente en los tratamientos evaluados (Comp. princ.).....	77
10.	Asociación de variables evaluadas durante la etapa vegetativa de <i>A. hypochondriacus</i> L. (Comp. princ.)..	79
11.	Variables de respuesta que explican en mayor proporción el comportamiento de las variables evaluadas (Comp. princ.).....	79
12.	Comparación de las variables de respuesta con la asociación de las gráficas de componentes principales.....	80

## INDICE DE ANEXOS

1.	VALORES DE $r^2$ y $b$ A PARTIR DE LOS COEFICIENTES DE DETERMINACION LINEAL PARA LAS VARIABLES DE BIOMASA.....	106
2.	VALORES DE $t$ PARA LOS TRES TRATAMIENTOS CORRESPONDIENTES A LAS VARIABLES DE BIOMASA.....	107
3.	CUADRO DE ERRORES STANDARD DE LAS MEDIAS PARA LAS VARIABLES EVALUADAS.....	109
4.	DIAGRAMA DE FLUJO PARA METODOLOGIA.....	111
5.	ACLARACIONES SOBRE LOS ERRORES STANDARD DE LAS GRAFICAS.....	113

## ABREVIATURAS

A. F.	Area foliar (Cm. cuadrados)
A. F. E.	Area foliar específica (Cm. cuadrados/gramos)
C. C.	Capacidad de campo
C. R. A.	Contenido relativo de agua (Porcentaje)
D. A. F.	Duración del área foliar (Cm. cuadrado x Día)
D. T.	Diámetro del tallo (Centímetros)
Est.	Estomas (Núm. de estomas)
H. A.	Humedad aprovechable
P. M. P.	Punto de marchitez permanente
P. S. H.	Peso seco de hojas (gramos)
P. S. T.	Peso seco total (gramos)
P. S. Ta.	Peso seco del tallo (gramos)
P. S. R.	Peso seco de raíces (gramos)
R. A. F.	Relación del área foliar (Cm. cuadrados/gramos)
Tr.	Transpiración (gramos/ Cm. cuadrado)
Vr.	Volumen de raíces (Cm. cúbicos)
V/R.	Razón vástago/raíz (gramos/gramos)
$\psi$	Potencial hídrico (Bars)

## RESUMEN

La sequía o deficiencia de agua es uno de los factores que más limita la producción de cosechas, si consideramos que en nuestro país más del 80% de la superficie cultivada es de temporal y que en vastas zonas el agua de riego no está disponible, el Amaranto resulta un cultivo ideal por su riqueza proteínica y su facilidad para crecer en áreas con deficiencia de humedad, de por tal razón, el objetivo del presente trabajo es: *determinar las características de las respuestas morfológicas y fisiológicas durante la etapa vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. sometido a dos niveles de tensión hídrica, manteniendo constante el agua del suelo a 20, 60 y 100% (testigo) de humedad aprovechable a partir del día 40 después de la siembra.*

Tomando como base la clasificación de Parsons (1987), dentro de las respuestas morfológicas consideramos el Área Foliar (A.F.), Diámetro del Tallo (D.T.), Volumen de Raíces (Vr.) y la Razón Vátago/Raíz (V/R), mientras que como respuestas fisiológicas se consideraron: el contenido de Ceras (Cer.), la Transpiración (Tr.), el número de estomas (Est.) en un área de  $3.57 \mu$ , el Contenido Relativo de Agua (C.R.A.) y el Potencial hídrico ( $\psi$ ). De este conjunto de variables se detectaron aquellas que se asocian en comportamiento como respuesta a la deficiencia de humedad y aquellas que pueden ser consideradas como indicadoras de sequía durante la fase vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso.

El trabajo se realizó en bolsas de polietileno negro de 30 x 30 cm. y 5.5 kg. de suelo arenoso, cada bolsa representó una unidad experimental, la cual contenía un total de 3 plantas de *Amaranthus hypochondriacus* L. El diseño cubrió tres tratamientos (incluyendo al testigo) con 25 unidades experimentales para cada uno, en los cuales se realizaron con intervalos de 10 días a partir del 50 después de la siembra cinco evaluaciones con cinco repeticiones para cada una de las variables de respuesta ya mencionadas, en un tiempo total de 90 días. Las unidades experimentales se distribuyeron al azar bajo humedad controlada.

Los resultados mostraron un contenido negativo de ceras. Para conocer el comportamiento de las variables de respuesta restantes a través del tiempo en los tratamientos manejados, se obtuvieron los promedios de las cinco repeticiones realizadas en los diferentes tiempos de evaluación y se construyeron gráficas de correlación lineal con respecto al tiempo, en las cuales se observa que para el área foliar el tratamiento con 80% de H.A. produjo el 74.8% mientras que el 20% cubrió el 46.7% del total de área producida por el testigo, existiendo diferencias significativas entre tratamientos a partir de la segunda evaluación.

El área foliar específica se ve afectada por la sequía a los 60 y 70 días posteriores a la siembra, presentándose en la fase final de evaluación una relación óptima entre fotosíntesis y

respiración. La relación del área foliar disminuye conforme avanza el ciclo biológico de la planta en el tratamiento testigo, mostrando los experimentales un comportamiento irregular, la sequía tiene su efecto sobre éste índice algunos días antes de la fase reproductiva.

La duración del área foliar indica que el tratamiento con 80% de H.A. tiene una fuente de productos fotosintéticos de 68.8% mientras que el 20% presentó 49.8% con respecto al testigo, existiendo diferencias significativas entre tratamientos. El número de estomas no puede tomarse como indicador de sequía.

Los altos valores de transpiración en el tratamiento testigo se asocian al alto contenido relativo de agua y al alto potencial hídrico. Para los tratamientos experimentales los valores de transpiración disminuyen a medida que disminuye el C.R.A. y  $\psi$ . No se presentó efecto de maceta en los tratamientos, por lo que el escaso desarrollo radical fué influido por la deficiencia de humedad, la cual afectó los pesos secos parciales de la planta y como consecuencia la productividad final de biomasa.

La razón vástago/raíz se mantuvo sin diferencias significativas. La respuesta del Amarantho a la deficiencia de humedad es incrementar un sistema radical que le permita captar el agua disponible para posteriormente incrementar su porción aérea. Se observó que la sequía afecta en los diferentes tratamientos con igual intensidad tanto la parte aérea como la porción subterránea de la planta.

Mediante el análisis de componentes principales se determinó que las variables con correlación lineal significativa son los pesos secos parciales y total, además del D.T. y A.F. en sus diferentes combinaciones. Por lo tanto, las VARIABLES DE BIOMASA explican en mayor grado el comportamiento de las observaciones para los tres tratamientos, por lo cual se consideran como indicadoras de sequía durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L.

El Espectro de Variación Fisiológica muestra a la cuarta y quinta evaluación (80 y 90 días después de la siembra) como los estados más críticos de deficiencia de humedad.

## I. INTRODUCCION

La sequía o deficiencia de agua es el factor ecológico que más limita la producción de cosechas, ya que el agua es un elemento esencial en el ciclo de vida de todo ser vivo (Quizenberry, 1987 y Medina, 1977). En México, mas del 80% de la superficie cultivada es de temporal, en el mundo ésta área representa el 75%, de ahí que en este aspecto, nuestra situación sea representativa de la mundial (Muñoz, 1980).

La precipitación pluvial y el riego son los únicos factores que pueden aliviar por completo los efectos de la sequía sobre los rendimientos del cultivo. Cuando el agua de riego no está disponible, las únicas soluciones posibles son recurrir a procedimientos de cultivos que incrementen la disponibilidad de humedad almacenada en el suelo o desarrollar variedades de cultivos o de híbridos que puedan evitar o tolerar con mayor eficiencia los periodos de sequía (Quizenberry, 1987).

Para regiones semiáridas donde el abastecimiento de agua es problemático, el Amaranto resulta un cultivo ideal, ya que además de su riqueza proteínica, tiene otras ventajas, una de ellas es que necesita menos agua que otras cosechas de grano, su mismo nombre viene del griego que significa inmacersible (que no se marchita) (Iturbide, 1986). Su cultivo data de la época prehispánica, durante la cual ocupó uno de los primeros lugares en la alimentación del pueblo Mexicano. Siempre estuvo ligado a la cultura Azteca, se empleaba en la práctica de ciertos ritos místicos, íntimamente ligados a los sacrificios humanos, después de los cuales los adictos ingerían una especie de pan preparado con la semilla. Por tal razón, los Españoles prohibieron y combatieron su cultivo (Castilla, 1980).

Gracias a la gran plasticidad que esta planta presenta para adaptarse a diversos hábitats, pudo conservarse hasta nuestros días. Actualmente el Amaranto se cultiva en ciertos pueblos del valle de México, especialmente en San Gregorio Atlapulco y Tulyehualco, al que se le considera como su sede (Castilla, 1980).

El Amaranto cultivado en México es el *Amaranthus hypochondriacus* L. (también conocido como *Amaranthus leucocarpus*), derivado de la especie silvestre *Amaranthus powellii*. Es una planta anual de rápido crecimiento, C<sub>4</sub> que produce mucho material vegetativo y alcanza de 1.5 a 2.0 m. de altura, periodo de crecimiento de 120 días y madurez no bien determinada. Influyen en el los ciclos de luz-obscuridad. Las plantas silvestres originarias fueron pioneras de hábitats naturalmente abiertos (Castilla, 1980), producían una abundante cantidad de semillas las cuales eran dispersadas por el viento y las aves, por ello colonizaron sitios perturbados con mucho sol y poca competencia (Mapes, 1986).

A pesar de su identidad mística con el pueblo Azteca, nuestras tradiciones culturales y el alto valor nutritivo que presenta este pseudocereal, en México los estudios anatómicos, morfológicos y fisiológicos son escasos, ya que no se les ha dado la importancia que merecen. Además si se toma en cuenta que el Amarantho cultivado en México actualmente ocupa un lugar importante en la alternativa de mejorar las condiciones alimenticias tanto en zonas rurales como urbanas y la gran posibilidad de hacer eficiente su cultivo en zonas áridas de nuestro país, el presente trabajo pretende determinar las características de las respuestas morfológicas y fisiológicas durante la fase vegetativa de *A. hypochondriacus* L. bajo condiciones de sequía.



## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 EL FACTOR HIDRICO

#### 2.1.1 AGUA APROVECHABLE POR LA PLANTA

La velocidad del movimiento del agua a través del suelo, varía inversamente a la textura de ese suelo; es decir, cuanto más fina sea la división, más lenta será la velocidad de movimiento. Así, el agua aprovechable por la planta se encuentra entre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). La primera se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente. En un suelo bien drenado, por lo general se llega a éste punto aproximadamente 48 horas después de irrigar (Raven, 1975 y Gavande, 1982). La capacidad de campo es la región del contenido de humedad del suelo en donde comienza a reducirse la velocidad de remoción del agua del suelo, después de una irrigación o lluvia fuerte. El mejor uso de éste término es para indicar una región general del contenido de humedad. Cuando se necesitan valores más exactos, se deben usar términos más precisos de equilibrio, tales como porcentajes correspondientes a  $1/3$  de Bar (Gavande, 1982). En general, la capacidad de campo es mucho más alta en los suelos de textura fina, y las arcillas retienen la mayor cantidad de agua. Sin embargo, para que ésta agua sea aprovechable para el crecimiento de la planta, los suelos deben estar suficientemente aireados (Raven, 1975).

Por otra parte, para considerar el punto de marchitez permanente manejamos el siguiente ejemplo: si se deja crecer indefinidamente una planta en una muestra de tierra sin añadirle agua, llegará un momento en que la planta no podrá obtener más agua del suelo. En éste punto el agua que resta se halla en poros muy pequeños y en películas delgadas alrededor de superficies internas del suelo. El contenido de humedad de un suelo en el punto en que una planta no puede extraer más agua de él, es definido como el Punto de Marchitez Permanente (PMP) de ese suelo. (Raven, 1975). Según Torres (1983) citado por Arriaga (1985), empíricamente el PMP puede calcularse de la siguiente forma:

- |                           |                |
|---------------------------|----------------|
| a) para suelos arcillosos | $PMP = CC/2$   |
| b) para suelo medios      | $PMP = CC/2.1$ |
| c) para suelos arenosos   | $PMP = CC/2.2$ |

Cuando se requieren valores más exactos se corre una curva de tensión de humedad a 15 atmósferas y se calcula directamente el valor del PMP en el suelo en cuestión.

La capacidad de campo corresponde al 100% de humedad aprovechable, mientras que el PMP corresponde al 0% de humedad aprovechable. Los porcentajes intermedios se hallan en éste intervalo.

## 2.2 RESISTENCIA A SEQUIA

### 2.2.1 ASPECTOS GENERALES

La mayoría de los lugares del mundo están expuestos a la sequía, variando su duración e intensidad de una zona climática a otra. Las pérdidas ocasionadas por una sequía prolongada pueden ascender a muchos cientos de millones de dólares. Las pérdidas directas son consecuencia de los rendimientos reducidos de las cosechas. Las estimaciones de las pérdidas indirectas incluirán pérdidas por cultivos no sembrados, por el abandono de tierras y por los cambios en el uso de la tierra después de la sequía. En la actualidad no hay un mecanismo confiable para aumentar la cantidad de precipitación durante los periodos de sequía, y sólo queda recurrir a procedimientos de cultivos que incrementen la disponibilidad de humedad almacenada en el suelo o desarrollar cultivos o híbridos que puedan evitar o tolerar con mayor eficiencia los periodos de sequía (Quizenberry, 1987).

### 2.2.2 RESISTENCIA ONTOGENETICA Y FILOGENETICA

La resistencia a sequía de las plantas anuales es muy alta al inicio del desarrollo, y va disminuyendo a medida que se diferencian los órganos reproductivos, hasta la floración, en cuya etapa la resistencia es mínima. Esta resistencia variable durante del ciclo de vida de las plantas se denomina ONTOGENETICA. A diferencia de la resistencia promedio entre especies, variedades o plantas, la cual se denomina FILOGENETICA (Muñoz, 1980).

### 2.2.3 CONCEPTOS Y CLASIFICACION DE RESISTENCIA A SEQUIA

El significado de resistencia a sequía es tan variado y discutible que los investigadores de esta área no han logrado la unificación de dicho concepto. Kramer (1974) lo relaciona con los distintos medios por los cuales las plantas sobreviven a periodos de tensión hídrica ambiental. Agrega que las plantas son resistentes a la sequía, ya porque su protoplasma es capaz de sobrellevar la deshidratación sin sufrir daños permanentes, o porque poseen características estructurales o fisiológicas que tienen por resultado el aplazamiento o la evasión de un nivel letal de desecación.

Para el fitomejorador, el término "Resistencia a la sequía" está relacionado con un ambiente desfavorable por falta de humedad y se refiere a la capacidad de un genotipo para ser más productivo que otro con una determinada cantidad de humedad en el suelo.

En un concepto agrícola, se refiere a la capacidad de una planta cultivada para rendir su producto económico con agua disponible limitada. En un contexto evolutivo sería la capacidad de una planta para sobrevivir y eventualmente reproducirse bajo humedad limitada (Fischer, et al., 1984).

Quizenberry (1987) define a la sequía como cualquier periodo durante el cual las deficiencias de la planta y/o de agua del suelo afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. Estas deficiencias pueden ser consecuencia de un suministro escaso de humedad o de una demanda elevada de la misma. La duración del periodo de sequía determinará la cantidad del daño ocasionado con el crecimiento y desarrollo de la planta. El tipo de ambiente seco en el cual se desarrollará un cultivo deberá determinar hasta cierto punto, el tipo de mecanismo de resistencia que deberá desarrollarse.

Levitt (1972) menciona tres mecanismos para la resistencia a la sequía: escape, evitación y tolerancia.

- a) El escape tiende a minimizar la interacción de la sequía con el crecimiento del cultivo y su rendimiento.
- b) La tolerancia proporciona la capacidad para producir a pesar de la pérdida en la condición de humedad de la planta.
- c) La evitación incrementa la capacidad para mantener una condición hídrica relativamente alta de la planta, a pesar de la insuficiencia de humedad en el ambiente.

Para May y Milthorpe (1962) y Turner (1977) La resistencia a sequía es un término genérico usado para cubrir un rango de mecanismos a través de los cuales las plantas resisten periodos de tiempo seco, ellos identifican también tres tipos de resistencia:

1) Escape a la sequía. Es la habilidad que tiene una planta para completar su ciclo de vida antes de tener serios problemas con la deficiencia de agua.

2) Tolerancia a la sequía con alto potencial hídrico en su tejido. Es la habilidad de la planta para soportar periodos de déficit de lluvia manteniendo un potencial hídrico alto en sus tejidos.

3) Tolerancia a la sequía con bajo potencial hídrico en sus tejidos. Es la habilidad de la planta para soportar periodos de déficit de lluvias, manteniendo un bajo potencial hídrico en sus tejidos.

A continuación se presenta la clasificación de los mecanismos de la resistencia a la sequía de Turner (1977) modificada por Jones, et.al., (1979):

#### 2.2.4 ESCAPE A LA SEQUIA

- a) Rápido desarrollo fenológico.
- b) Plasticidad de desarrollo.

#### 2.2.5 TOLERANCIA A LA SEQUIA CON ALTO POTENCIAL HIDRICO EN EL TEJIDO

- a) Mantenimiento de la captación de agua.
  - i) Incremento de raíces
  - ii) Incremento de la conductividad hidráulica

- b) Reducción de la pérdida de agua.
  - i) Reducción de la conductancia epidermal
  - ii) Reducción de la absorción radiante
  - iii) Reducción de la superficie de evaporación

### 2.2.6 TOLERANCIA A LA SEQUIA CON BAJO POTENCIAL HIDRICO EN EL TEJIDO

- a) Mantenimiento de la turgencia.
  - i) Acumulación de solutos
  - ii) Incremento de la elasticidad
- b) Tolerancia a la desecación.
  - i) Resistencia protoplásmica

Esta clasificación cubre los mecanismos aplicados a plantas en: comunidades naturales, con un manejo flojo en comunidades mixtas y son altamente manipuladas para comunidades monoespecíficas de poblaciones agrícolas.

### 2.3 RESPUESTAS MORFOLOGICAS Y FISIOLOGICAS AL STRESS HIDRICO

Es realmente difícil cubrir y evaluar todas las respuestas morfológicas y fisiológicas que la planta de Amarantho ofrece como resultado de una deficiencia de humedad, por tal razón, lo que se pretende es comentar brevemente aquellas que en ésta ocasión serán evaluadas.

Entre las variables ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta, la deficiencia de agua es una de las más importantes (Parsons, 1987). La tensión hídrica afecta prácticamente a todos los aspectos del crecimiento de la planta, modificando la anatomía, la morfología, la fisiología y la bioquímica. Algunos efectos se relacionan con un descenso en la turgencia, otros son causados por la reducción del potencial osmótico (Kramer, 1974).

Tomando como base la clasificación de Parsons (1987), dividimos los cambios que las plantas presentan como resultado de la deficiencia o stress hídrico en morfológicos y fisiológicos.

#### 1) CAMBIOS MORFOLOGICOS

- a) Area foliar y desprendimiento de hojas.
- b) Diámetro del tallo.
- c) Volumen de raíces.
- d) Razón vástago/raíz.

#### 2) CAMBIOS FISIOLOGICOS

- a) Cera cuticular.
- b) Comportamiento de los estomas.
- c) Transpiración y fotosíntesis.
- d) Contenido Relativo de Agua (C.R.A).
- e) Potencial hídrico ( $\psi$ ).

## 2.3.1 CAMBIOS MORFOLOGICOS

### 2.3.1.1 AREA FOLIAR Y DESPRENDIMIENTO DE HOJAS

La actividad fotosintética de una planta es el determinante del rango de crecimiento y productividad. El área foliar y la capacidad fotosintética por unidad de área foliar son los dos componentes de la actividad fotosintética total. Estos componentes son muy sensibles al stress hídrico y constituyen la mayor limitante de productividad (Krieg, 1983).

Una forma común de reducir la pérdida de agua es el desprendimiento de las hojas o la menor producción de área foliar. La reducción de la superficie total de hojas de la planta se ha considerado como uno de los factores más importantes para la sobrevivencia de algunas plantas del desierto. La pérdida de hojas inferiores es común (Parsons, 1987).

La plasticidad de los procesos de desarrollo del área foliar ofrecen un importante mecanismo de producción de semillas en plantas que conservan el agua durante el período vegetativo para usarla en la formación de la semilla. Sin embargo, la reducción excesiva del área foliar en la fase vegetativa impone una limitación irreversible sobre la producción y una relación más estrecha entre el área foliar y el número de semillas en determinadas especies (Krieg, 1983).

El área foliar es un elemento de intercepción de energía radiante y su medición es muy importante cuando se relaciona con el crecimiento foliar, la actividad fotosintética y la transpiración. Para establecer comparaciones del área foliar con su biomasa se utiliza el índice de Área Foliar Específica (A.F.E.) y la Relación Área Foliar (R.A.F.) con el peso total de la planta.

### 2.3.1.2 DIAMETRO DEL TALLO

El tallo juega un papel importante en la conducción de agua desde las raíces hasta la parte aérea de la planta a través de los gradientes de potencial hídrico que se forman en su interior como resultado de las condiciones que prevalecen en el ambiente. A pesar de ello, no existen estudios que relacionen en diámetro del tallo con la capacidad del flujo de agua a la parte fotosintética de la planta.

A este respecto, Scott (1977) menciona que si el movimiento de agua es constante a través del tallo, la resistencia al flujo puede ser constante. Las magnitudes de la resistencia al movimiento de agua a través del sistema suelo-planta-atmósfera bajo condiciones constantes pueden derivar de las magnitudes en el potencial hídrico. En el flujo de agua a través de la planta intervienen además otros factores: primero, la mayor resistencia al flujo hídrico en la planta puede variar de manera compleja, segundo, el sistema debe usar otra analogía si se incrementan los niveles de transpiración aún bajando el potencial hídrico en cualquier parte del flujo de transpiración (Scott, 1977).

Aunque la transpiración es dominante bajo condiciones normales, ésta no es la única causa del movimiento hídrico, sin embargo, es la principal fuente de pérdida de agua en plantas sometidas a períodos prolongados de sequía.

### 2.3.1.3 VOLUMEN DE RAICES Y RAZON VASTAGO/RAIZ

Otro de los cambios morfológicos de la respuesta a la deficiencia de agua incluyen una relación mayor de raíz/tallo. Esto puede deberse a una disminución en el crecimiento del tallo, al aumento del crecimiento de la raíz o a ambos. Una mayor proliferación de la raíz permitiría la exploración de un mayor volumen de suelo y, como consecuencia una sobrevivencia mas larga de la planta (Parsons, 1987). Quizenberry (1987) menciona que el desarrollo de la raíz y la cantidad de agua absorbida del suelo por la planta están estrechamente relacionados, ya que en un sistema radicular ampliamente desarrollado se incrementa la eficiencia de la absorción y la resistencia relativa a la sequía.

Existen grandes diferencias entre plantas de distintas especies en lo que respecta a la profundidad, la extensión y la cantidad de bifurcaciones y por lo tanto, la extensión de la superficie de sus raíces. Cuanto mayor sea el volumen de suelo ocupado por un sistema de raíces, mayor será el volumen que tenga éste a su disposición y mayor será el tiempo que pueda sobrevivir la planta sin reposición del agua del suelo por agua de riego (Kramer, 1977).

Las especies de raíces profundas suelen sobrevivir a sequías que causan muchísimos daños a las especies de raíces superficiales, y las condiciones del suelo favorables a una penetración profunda de las raíces constituyen factores importantes en una resistencia creciente a la sequía (Kramer, 1977). En términos de mera supervivencia, muchas plantas que crecen vigorosamente disponen de un exceso de superficie radical.

## 2.3.2 CAMBIOS FISIOLÓGICOS

### 2.3.2.1 CERA CUTICULAR Y COMPORTAMIENTO DE LOS ESTOMAS

Para la planta sería útil una cutícula gruesa o cerosa para reducir la pérdida de agua. La refracción incrementada de la energía solar y la reducción de la permeabilidad cuticular, trae por resultado mayores potenciales hídricos en la hoja (Parsons, 1987).

Hull y col. (1975) citado por Parsons (1987) han analizado los factores ambientales que afectan el desarrollo de la cutícula. La presencia de grandes cantidades de cera en la hoja no es en apariencia un rasgo xeromórfico consistente, ya que algunas plantas pueden aumentar la producción de cera en respuesta a ciertos ambientes. La baja humedad y la alta energía radiante son condiciones que favorecen la producción de cera.

El incremento de la síntesis de cera provocada por la tensión hídrica podría dar por resultado una mayor resistencia cuticular. La mayor cerosidad y el incremento de la resistencia cuticular solo serían aprovechables, si ocurriese el cierre hermético de los estomas de las plantas bajo condiciones adversas. Teóricamente la mayor cantidad de cera podría incrementar también la resistencia de los estomas, como resultado del cierre parcial de los mismos. Así, la cera cuticular y los estomas están estrechamente relacionados, ya que las ventajas de ahorrar agua mediante el cierre sensible de los estomas se pierde si la planta no tiene una alta resistencia cuticular a la pérdida de agua. Schonherr (1976) citado por Quizenberry (1987) ha demostrado que la impermeabilidad del agua de la cutícula de la hoja está determinada completamente por la cantidad de ceras de la cutícula.

Aunque la regulación de los estomas y el desarrollo de la cutícula pueden ser eficaces para reducir la pérdida de agua y en consecuencia reducir el efecto de los grandes déficits de agua tisular cuando el cierre de los estomas es completo, la reducción del intercambio de gases, también reduce la fotosíntesis. De este modo, el cierre persistente de los estomas conducirá a la reducción de la productividad. Sin embargo, parece muy probable que en condiciones ambientales idénticas, plantas con gruesas capas de cutícula y estomas que responden tan pronto como comienzan a manifestarse las deficiencias de agua, responden a los efectos de la sequía mejor que aquellas con menor número de estomas sensibles y con menos capas de cutícula. (Quizenberry, 1987).

Se ha demostrado que el número de estomas por unidad de área foliar varía entre los genotipos de cada especie y depende del control genético, ésta es una de las razones que tienen los autores para no coincidir siempre en las frecuencias obtenidas.

Los estomas son de importancia considerable para las funciones vitales de almacenamiento y conservación de agua. Además actúan como mecanismos de protección de la planta, ya que al cerrar durante periodos de deficiencia de agua, disminuye la pérdida de ésta y así mismo, influyen en las tasas de respiración y fotosíntesis. No es posible separar con facilidad estas funciones de los estomas.

Farquar y Sharkey (1982) citados por Krieg (1983) mencionan tres conceptos relacionados con la actividad fotosintética y las limitaciones estomáticas: (a) los estomas imponen una gran limitante sobre la proporción de asimilación de CO<sub>2</sub>. (b) la limitación estomatal es mas severa cuando una planta es estresada. (c) los estomas limitan la proporción de asimilación de CO<sub>2</sub> en especies C<sub>4</sub> mas que en C<sub>3</sub>.

En un estudio sobre la herencia del funcionamiento de los estomas con algodón de tierras altas se observó que la tendencia de los estomas a cerrarse durante el periodo de mayor tensión foliar de agua fue completamente dominante sobre la capacidad de mantenerse relativamente abiertos durante este periodo de falta de humedad.

Gupta (1961) citado por Arriaga (1985) en determinaciones con cinco especies de Solanaceas observó que el mínimo de área requerida para que los valores del conteo de estomas fueran poco variables fué de 0.4mm cuadrados y que cinco lecturas por hoja daban un promedio consistente, siendo en la región central, entre la vena principal y el margen de la hoja donde estuvieron mas uniformemente distribuidos. Además, observó que el número de estomas por milímetro cuadrado de la epidermis inferior es inversamente proporcional al área de la lámina y multiplicando este valor por el área de la lámina se obtuvo el número estomatal absoluto, lo cual fue mas o menos similar en las hojas, excepto en aquellas donde los estomas no se habian diferenciado.

### 2.3.2.2 TRANSPIRACION Y FOTOSINTESIS

Para Kramer (1977) la transpiración es la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor. La transpiración es el factor dominante en las relaciones hídricas de la planta, por que la evaporación de agua produce el gradiente de energía que provoca el movimiento de agua adentro y a través de las plantas. Además, la transpiración causa casi diariamente déficits momentáneos de agua foliar, y cuando se seca el suelo causando retraso en la absorción respecto a la pérdida de agua, se producen déficits hídricos permanentes que causan daños y muerte por desecación.

Por su parte O' Leary (1975) citado por Ballesteros (1982) considera a la transpiración como un proceso de transferencia de calor en la hoja. Eslabón a través del cual muchos procesos fisiológicos en la planta están acoplados con el ambiente. El mismo autor menciona que la energía radiante, la temperatura, la humedad relativa del ambiente y el viento son los factores que afectan a la transpiración, siendo la temperatura la más importante, ya que la velocidad de evaporación se duplica cada vez que la temperatura sube 10 grados centígrados.

La humedad del suelo es un factor determinante en la transpiración puesto que el déficit hídrico tiende a causar cierre estomatal independientemente de la iluminación. La capacidad fotosintética de una planta está determinada principalmente por el área foliar total y por la actividad fotosintética de varias hojas. El cierre de los estomas dará por resultado la pérdida reducida de agua y también la fotosíntesis reducida. Begg y Turner (1976) citado por Parsons (1987) señalaron que la reducción inicial en la fotosíntesis se debe al cierre de los estomas y a la absorción reducida de CO<sub>2</sub>. Con frecuencia la transpiración decrece paralelamente con la fotosíntesis, lo cual sugiere que el cierre de los estomas limita ambos procesos. Los mismos autores concluyeron que en principio "La fotosíntesis disminuye como resultado del cierre de los estomas, pero la tensión hídrica prolongada e intensa puede conducir a la declinación de la actividad de cloroplastos y enzimas y a efectos no estomáticos sobre la fotosíntesis".

\* La tensión hídrica puede reducir el área foliar o el índice del área foliar (IAF), y si el efecto ocurre cuando el IAF es bajo, se reducirá la producción de materia seca, ya que declinaría el desarrollo del área foliar total.



### 2.3.2.1 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA

El contenido relativo de agua es la proporción de agua que contiene un órgano o una planta completa, con respecto a una capacidad máxima de toma de agua. se define como:

$$C.R.A. = \frac{P_t - P_s}{P_t - P_s}$$

Donde:

- C.R.A. = Contenido relativo de agua.
- $P_t$  = Peso inicial de la muestra (tallo, hoja, etc.).
- $P_s$  = Peso seco de la muestra.
- $P_T$  = Peso en turgencia máxima o en saturación.

El peso en turgencia máxima es alcanzado cuando se deja embeber agua durante cierto tiempo. Cabe aclarar que este peso es alcanzado por la muestra de manera artificial, ya que en condiciones naturales nunca llegaría a él, sin embargo, para fines prácticos se toma como referencia.

### 2.3.2.4 POTENCIAL HIDRICO ( $\psi$ )

El movimiento de agua depende de gradientes de potencial hídrico. El flujo de agua desde el suelo a través de la planta hasta la atmósfera se considera en términos de gradientes de potencial, la cantidad de agua presente ejerce un importante efecto sobre los cambios de potencial (Scott, 1977). Por ello el potencial hídrico ha sido la medida mas usada para determinar el estado hídrico de una planta.

El potencial hídrico se define como la energía libre por mol de agua y es una medida de la energía disponible (Bidwel, 1979) siendo igual a cero para el agua pura. Cualquier sistema expresa el potencial hídrico como:

$$\psi = \psi_p + \psi_o$$

Donde:

- $\psi$  = Potencial hídrico.
- $\psi_p$  = Potencial de presión o turgencia.
- $\psi_o$  = Potencial osmótico.

El potencial de presión es la suma de presiones y es igual a la presión real en el sistema considerado.

El potencial osmótico se debe a la presencia de partículas de soluto.

Por convención,  $\psi_p$  es igual a cero a presión atmosférica y usualmente positivo en células vivas, pero negativo en elementos muertos del xilema. El  $\psi_o$  siempre es negativo. Cuando se adicionan partículas de soluto, siempre decrece el  $\psi$ . El  $\psi_p$  puede ser positivo y alto, el  $\psi_o$  puede estar en cero o negativo, el  $\psi$  puede ser negativo, cero o positivo. En plantas casi siempre es negativo (Salisbury y Ross, 1978).

En una planta el suelo tiene un  $\psi$  mayor, la atmósfera un  $\psi$  mucho menor y valores intermedios en la planta, se forma así un gradiente variando considerablemente los componentes de  $\psi$ .

En el agua del suelo:

$$\psi_p = 0$$

$\psi_o$  es sólo ligeramente negativo.

$\psi$  es sólo ligeramente negativo.

En el xilema el agua contiene pocos solutos:

$\psi_o$  es sólo ligeramente negativo pero el agua puede estar bajo tensión.

$\psi_p$  es negativo.

$\psi$  es mas negativo que en el suelo.

Las células de las hojas contienen una solución más concentrada, así:

$\psi_o$  es bastante negativo.

$\psi_p$  es positivo por los movimientos de agua del interior.

$\psi$  es mas negativo que en el xilema.

En la atmósfera el  $\psi$  es muy pequeño, mucho mas negativo. (Salisbury y Ross, 1978).

## 2.4 EL AMARANTO

### 2.4.1 BREVE HISTORIA DEL CULTIVO

El cultivo del Amarantho se conoce desde hace 8000 a 400 años A.C., según hallazgos arqueológicos realizados en Perú, México y Estados Unidos de Norteamérica (Trinidad et. al., 1986).

Aguilar y Alatorre (1978) mencionan que la planta del Amarantho probablemente tuvo su origen en México. Los nativos la conocían con el nombre de "huautli", pero los españoles en la época de la conquista le dieron el nombre de "bledo" por la semejanza con diversas especies Europeas de la familia Amaranthaceae. Hunziker (1943) citado por Aguilar y Alatorre (1978) afirma que su origen es indiscutiblemente Americano ya que era cultivado por los Aztecas y otros pueblos mucho antes de la llegada de los españoles.

El *Amaranthus hypochondriacus* L. es una de las especies más importantes como productoras de semillas comestibles. En la época prehispánica figuró como uno de los principales cultivos al igual que el maíz, el frijol y la calabaza. Del Amarantho se utilizaba el grano y la planta tierna se consumía como verdura, con la harina de las semillas se hacían diferentes formas de ídolos que representaban a sus deidades (Sánchez, 1980).

Los misioneros que llegaron con los españoles se encargaron de abolir el cultivo por la importancia que daban los nativos a esta planta en las ceremonias religiosas. Afortunadamente, las condiciones climáticas favorables, el sentido tradicionalista de los agricultores y su plasticidad para colonizar nuevos hábitats, permitió que se conservaran algunas especies distribuidas en diferentes regiones de México (Sauer, 1977, citado por Medina, 1982). Actualmente las semillas de esta planta se usan casi exclusivamente para elaborar el dulce conocido con el nombre de Alegría.

### 2.4.2 IMPORTANCIA DEL AMARANTO COMO FUENTE DE ALIMENTACION

Los Mayas fueron los primeros en adaptarlo como cultivo de alto rendimiento. En la parte central de México, hasta antes de la conquista, el Amarantho constituyó uno de los cultivos básicos en la alimentación junto con el maíz, frijol, calabaza y chiles de diferentes especies. La importancia como alimento fue conocida por los antiguos Mexicanos, especialmente por los Aztecas, quienes lo consumían cotidianamente de diferentes formas, ya que combinaban el Amarantho de diversas formas con el maíz, frijol y otros alimentos, logrando una dieta balanceada, según los modernos estudios realizados por expertos en nutrición humana (Trinidad, et. al., 1986).

El uso de la semilla en la época prehispánica se relacionaba con algunas festividades religiosas. Casi todos los cronistas concuerdan en que las dos principales festividades que intervenían eran la de Ixcozauqui (Dios del fuego) y sobre todo la de Huitzilopochtli. A pesar de su importancia y de la resistencia

indígena, el cultivo del Amaranto disminuyó drásticamente en apenas dos siglos (XVII al XIX). Este abandono se debió en parte según Sauer (1950) citado por Mapes (1986) al trastorno general de los asentamiento indígenas durante la colonia.

En la actualidad el Amaranto se siembra todavía en algunos lugares de la antigua área del huautli, aunque sea en pequeños manchones cerca de las casas o en los campos de cultivo. Los granos se siguen usando en la confección de dulces, en especial los que se consumen durante ciertas fiestas, como el día de muertos (Mapes, 1986). En Santiago Tulyehualco se celebra anualmente la feria de la alegría que se lleva a cabo en semana santa (Jiménez y Cordero, 1986).

Otro tipo de alimento que se prepara con esta semilla es el atole. Sánchez (1980) menciona que las semillas reventadas, es decir, tostadas ligeramente como se hace para preparar la golosina y el atole, se digieren más fácilmente que las crudas. Por lo tanto, sería recomendable que en la elaboración de toda clase de productos alimenticios derivados del Amaranto se empleen semillas previamente doradas.

Las hojas del Amaranto son también comestibles, y según Castilla (1980) su valor nutritivo se considera superior al de las espinacas. Además, en la delegación Xochimilco se pican las hojas y tallos de plantas tiernas y se emplean en la elaboración de tamales (Jiménez y Cordero, 1986).

Desde el punto de vista bromatológico, las hojas de muchas de las especies de Amaranto resultan muy interesantes como fuentes de vitaminas y minerales esenciales, tales como calcio, fósforo y hierro. En los tallos de diversas especies se han encontrado proteínas, calcio, fósforo, hierro además de algunas vitaminas; su único inconveniente estaría en la parte no digerible de la fibra cruda; lo más importante respecto a estas semillas es que contienen en promedio 14.7% de proteína, 3.1% de grasa y 60.7% de carbohidratos; son ricas en minerales: 510mg de calcio, 397mg de fósforo y 11mg de hierro. Tiene además proporciones discretas de tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C. Lo que destaca en la proteína del Amaranto es su riqueza en aminoácidos esenciales incluyendo la lisina y metionina (Sánchez, 1980 citado por Jiménez y Cordero, 1986).

Castilla (1980) menciona que la proteína del Amaranto es más completa que la de la soya y la de la leche entera de vaca. Además, el alto contenido de triptófano y lisina lo hacen formidable como alimento humano, es un cultivo muy eficiente para producir materia seca, proteína y vitaminas. Su proteína es de alta calidad nutricional que suplementa los aminoácidos básicos que se encuentran en una dieta con altas proporciones de cereales y leguminosas. Así, en el Amaranto se encuentra una fuente de proteínas vegetales para enriquecer la dieta de poblaciones marginadas y urbanas. Su cultivo es sencillo, práctico y productivo y sólo se requiere divulgarlo para retomar esta importante fuente de alimentación como una alternativa para mejorar la dieta de la población Mexicana a precios relativamente bajos.

### 2.4.3 DISTRIBUCION Y ECOLOGIA

Históricamente la gente ha cultivado el Amaranto en ambientes que van desde tropicales hasta en suelos semiáridos y desde el nivel del mar hasta las partes más elevadas del mundo. Tolera suelos arenosos alcalinos con un pH de hasta 8.5 y suelos arcillosos de ladera en los trópicos. Tradicionalmente se le ha cultivado dentro de los 30 grados de latitud del ecuador, pero puede crecer en latitudes altas incrementando la luz del día al inicio de la floración (fotoperíodo). Así el cultivo del Amaranto ha sido concentrado en los altos valles como la Sierra Madre, los Andes y los Himalayas (Iturbide, 1986).

El Amaranto que se usa como verdura se concentra en las partes altas lluviosas y zonas tropicales de baja elevación. Es ampliamente usado en regiones húmedas de Africa, Indonesia, Nueva Guinea, República de China y en partes de Sudamérica. Los Amarantos de grano se cultivan completamente en el oeste de Sudamérica y Centroamérica. La producción extensiva se encuentra también en el norte de la India y el oeste de Nepal (Harwood, 1979, citado por Pulido, 1987).

En México el Amaranto se cultiva principalmente para grano y como tal, su distribución está relativamente diseminada en los estados de México, Michoacán, Desierto de Sonora, Jalisco, Oaxaca, Sierra Madre Occidental, Tlaxcala, Puebla y Morelos. Tulyehualco en el Distrito Federal tradicionalmente ha sido un sitio importante para el cultivo del Amaranto (Aguilar y Alatorre, 1978).

Las zonas de México donde se cultiva el Amaranto tiene características altitudinales muy contrastantes, ya que se puede encontrar desde los 100 msnm hasta los 2800 msnm. En cuanto a temperatura, ha mostrado buen desarrollo desde lugares muy cálidos con temperaturas altas (29 C) y uniformes todo el año, hasta localidades templadas con temperatura media anual de 14 grados centígrados. Se ha observado que se le cultiva en condiciones de temporal aún en sitios con menos de 400mm de precipitación al año y recibidas casi exclusivamente de mayo a octubre, pero también se le encuentra en zonas con precipitaciones de 1300mm (Reyna, 1986).

### 2.4.4 ALGUNAS CARACTERISTICAS AGRONOMICAS

El Amaranto es una planta que produce semillas alimenticias, en México se le conoce con el nombre de Alegría. Este cultivo ha mostrado en la actualidad un alto grado de adaptación en regiones climáticas muy variadas del país (Reyna, 1986).

Para la germinación de las semillas y el establecimiento de las raíces el Amaranto requiere suelos con buena humedad, pero desde que las semillas son establecidas, el grano crece bien con limitación de agua. En realidad, el mejor crecimiento se da en regiones cálidas. Crece en suelos agrícolas secos, hasta con menos de 200 mm de precipitación (Iturbide, 1985).

Para su cultivo, la tierra se prepara del mismo modo que para el maíz, la semilla se coloca en forma directa en el campo o en semilleros para ser transplantadas cuando han alcanzado 15 o 20 cm de altura (Castilla, 1980 y Medina, 1982).

En México se le siembra generalmente a fines de abril o principios de mayo; las semillas germinan a los ocho días. Las plantas florecen en agosto y septiembre, las heladas anticipadas destruyen las hojas, pero no afectan al grano. Los rendimientos van de una a dos toneladas por hectárea. La cosecha se hace a fines de octubre o principios de noviembre, después que ha terminado la temporada de lluvias (Medina, 1982).

Iturbide (1986) en observaciones de campo pudo constatar la gran resistencia que tiene la planta a la sequía ya que en el momento del trasplante -menciona- solo hubo una ligera lluvia que permitió realizar esta actividad. después de 15 días volvió a llover, pero muy ligeramente, sin embargo, ello fue suficiente para una gran recuperación de las plántulas; los primeros meses sólo hubieron lluvias ligeras y esporádicas.

#### 2.4.5 FERTILIZACION Y SUELO

El Amaranto requiere de suelos bien aireados, con buen drenaje, permeables, que no presenten exceso de humedad, neutros o básicos (pH alrededor de 6) (Medina, 1982 e Iturbide, 1986). Requiere altos niveles de nitrógeno, alrededor de 200 kg por hectárea para completar su ciclo, y el balance de nitrógeno y fósforo debe ser adecuado y con buenas cantidades de potasio, calcio y magnesio.

Trinidad et.al.,(1986) en su estudio de fertilizantes sobre el cultivo del Amaranto realizado en Chapingo, Méx.; menciona que este cultivo responde al uso de fertilizantes químicos y que la fertilización nitrogenada fue muy importante para incrementar el rendimiento del grano, además concluye que obtuvo una respuesta menor del Amaranto con la aplicación de fósforo en comparación con la fertilización nitrogenada.

Alejandro y Gómez (1986) mencionan que el Amaranto respondió eficientemente a la fertilización nitrogenada, obteniéndose poca respuesta en la fertilización fosfórica. Concluyeron que el mejor tratamiento en una hectárea bajo criterios estadísticos, fisiológicos y agronómicos se obtuvo al aplicar 30kg de nitrógeno, 30kg de fósforo y 50 000 plantas.

Por su parte, Morales, et. al.,(1986) concluyen que el rendimiento de grano de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L) se ve afectado significativamente por las aplicaciones de nitrógeno, no así por el fósforo. Concluyeron también que los incrementos en rendimiento de grano por aplicaciones de nitrógeno, estuvieron correlacionados positivamente con la producción de grano por la planta, el área foliar y el rendimiento del rastrojo. De la misma forma los incrementos en rendimiento de grano por aplicaciones de fósforo, mostraron una débil correlación positiva con la producción de grano por planta y la longitud de la panoja.

## 2.4.6 ASPECTOS MORFOLOGICOS Y FISIOLÓGICOS DEL AMARANTO

A. *hypochondriacus* como todos los Amarantos pertenecen al grupo de plantas que efectúa la fotosíntesis por la especializada ruta C<sub>4</sub>. Es uno de los pocos cultivos C<sub>4</sub> que no son gramíneas. La mayor capacidad fotosintética de las plantas C<sub>4</sub> y la dependencia térmica de la fotorrespiración de las C<sub>3</sub>, trae como consecuencia que la capacidad competitiva de las plantas C<sub>4</sub> en hábitats cálidos y áridos sea considerablemente mayor que en las C<sub>3</sub>. El mayor costo energético del metabolismo C<sub>4</sub>, en comparación con el C<sub>3</sub> lo excluye de hábitats sombreados, y reduce su ventaja competitiva en hábitats fríos donde la fotorrespiración de las C<sub>3</sub> es relativamente menos importante (Medina, 1977)

Entre las ventajas que tienen las especies que siguen la ruta fotosintética C<sub>4</sub> están la de responder mejor bajo condiciones ambientales adversas y hacer un uso más eficiente del agua en comparación con las plantas C<sub>3</sub> (Salisbury y Ross, 1978).

Grubben (1979) citado por Pulido (1987) al estudiar las prácticas de cultivo y condiciones ecológicas bajo las que se cultiva el Amaranto en Africa, reporta que éste tiene un desarrollo inicial rápido y un alto contenido de materia seca. Indica que la producción máxima de hojas se obtiene cuando el área foliar alcanza cerca de siete veces la superficie del suelo. El rendimiento más alto fue de 2.7 ton/ha. de materia seca en 6 semanas.

Por otra parte, Huaptli (1977) citado por el mismo autor comparó la distribución de la biomasa de especies cultivadas y de malezas ambas de Amaranto, y encontró que mientras los rendimientos de los dos grupos fueron parecidos, las malezas dedicaron un gran porcentaje de su energía a la producción de semillas, las malezas desviaron de un 20 a un 50% de su biomasa a las semillas, en contraste a un 10 a 15% en las especies cultivadas para el mismo propósito. Las plantas de cultivo que asignaron más de su biomasa a las semillas produjeron los más altos rendimientos por planta, lo que no ocurrió con las malezas, el mismo autor señala que hay un gran efecto del ambiente sobre la cantidad de biomasa distribuida a la semilla. Se ha visto que las plantas fertilizadas y en los lotes con altas densidades de población se incrementa el porcentaje de biomasa como semilla.

### 2.4.6.1 EFECTO DE LA DEFICIENCIA DE HUMEDAD SOBRE *A. hypochondriacus* L.

A pesar de los estudios realizados en Amaranto, se tiene poca información sobre las respuestas morfológicas y fisiológicas de *A. hypochondriacus* L. bajo condiciones adversas de humedad. Respecto a esto, Aguilar y Alatorre (1978), Kauffman, et. al., (1984) y Sánchez (1980) señalan que aunque una extensa investigación se ha realizado sobre la respuesta de los cultivos a los déficit de agua, solo pocos estudios han implicado a *Amaranthus spp.* y en ninguno de ellos se ha experimentado con Amaranto de grano. Se sabe sin embargo que éste resiste periodos prolongados de sequía y su capacidad de producción en estas condiciones es

superior a la del maíz, en este aspecto Kauffman, citado por Iturbide (1986) dice: "Tuvimos una sequía en la parte de Pensilvania en 1980 y aproximadamente el 90% de la cosecha de maíz de nuestro país se perdió", "pero las plantas de Amaranth sobrevivieron".

Por su parte, Reyna (1985) menciona que durante su ciclo fenológico el Amaranth presenta cierta resistencia a la sequía de medio verano o canícula, aunque la intensidad de ésta sobrepase el 30%. Iturbide (1986) al realizar estudios sobre densidad de población y fertilización, afirma que el cultivo del Amaranth requiere de poca agua y tiene gran capacidad de resistencia a la sequía, al igual que otros factores climáticos y edáficos poco favorables para otros cultivos de temporal.

Por otro lado en la Universidad de Davis California, Cavagnaro (1985) citado por Pulido (1987) estableció un experimento con el objeto de medir la limitación o deficiencia de agua en la distribución de materia seca de cuatro especies de Amaranth de grano. Las especies que utilizó fueron: *A. edulis*, *A. Caudatus*, *A. Cruentus* y *A. hypochondriacus*. Los tratamientos de irrigación fueron: 1) Testigo, regado diariamente con la misma cantidad de agua que la pérdida por transpiración; 2) Déficit moderado (DM), el cual recibió 0.66 de la cantidad de agua aplicada al testigo; y 3) Déficit severo (DS), el cual recibió 0.33 de la cantidad aplicada al testigo. Las plantas fueron muestreadas a intervalos de dos semanas para hacer un total de seis muestreos. En cada muestreo se midieron el área foliar y el peso seco de las hojas, tallo, raíz e inflorescencia.

Los resultados finales indicaron que el promedio del rendimiento de la biomasa fue de 66% para DM y 52% para DS (Testigo = 100%). Se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos irrigados.

Al final del ciclo del cultivo, *A. edulis* produjo el más alto peso seco bajo todos los tratamientos de irrigación y *A. hypochondriacus* mostró el menor peso. Se constataron notorias diferencias en la distribución de materia seca en los diferentes órganos entre especies: *A. edulis* y *A. caudatus* asignaron una gran proporción de energía al tallo y a la raíz, mientras que *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* asignaron más de su materia seca a las hojas e inflorescencia y en menor proporción a las raíces.

Considerando la proporción de cada órgano en relación al peso seco total, se encontraron diferencias significativas entre las especies, pero no entre los tratamientos de riego, excepto en la relación peso seco de hojas/peso seco total. Esta relación fue más alta en las plantas que sufrieron déficits que en el testigo.

*A. edulis* presentó la mayor área foliar bajo déficit severo y déficit moderado, pero las diferencias entre especies fueron menos claras en el testigo; *A. cruentus* mostró el más alto peso seco de hojas en todos los tratamientos de irrigación, debido al mayor peso seco específico de las hojas.

El peso seco del tallo alcanzó valores máximos bajo todas las



condiciones, después que el peso seco de hojas. Al final del ciclo de cultivo, *A. cruentus* y *A. caudatus* tuvieron los más altos valores, mientras que *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* significativamente asignaron menores cantidades de la materia seca al tallo. En cuanto al peso seco de raíz, hubo diferencias significativas entre especies y entre tratamientos de irrigación.

El déficit hídrico no afectó la relación parte aérea/raíz. Sin embargo, hubo diferencia en los valores de esta relación entre las especies.

Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de grano entre las especies estudiadas, así como entre los tratamientos de riego; así mismo, hubo significancia en la interacción entre las especies y los tratamientos de irrigación. *A. cruentus* causó el mayor rendimiento de semillas bajo el tratamiento de déficit severo.

En cuanto al índice de cosecha, se encontraron diferencias significativas entre las especies, más no entre los tratamientos de irrigación. Bajo condiciones de déficit moderado y severo, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* mostraron valores del índice de cosecha significativamente más alto que los valores de las otras dos especies.

La eficiencia en el uso del agua se incrementó conforme hubo mayor déficit hídrico. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos de irrigación, pero entre las especies las diferencias observadas fueron pequeñas. Todas las especies mostraron significativamente el más bajo potencial osmótico en el follaje con un déficit hídrico severo en comparación con el testigo, lo que indica un ajuste osmótico.

Afortunadamente los estudios más recientes en éste campo de investigación son los realizados por los Mexicanos, Pulido (1987), Del Río (1988) y Villasana (1988).

Pulido (1987) al estudiar el efecto del nitrógeno y la humedad en el rendimiento de grano, materia seca y calidad de proteína de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, concluyó que en *A. hypochondriacus* los rendimientos de grano, materia seca y otras variables morfológicas, superaron a los de *A. cruentus*. Sin embargo, el *A. cruentus* presentó mayores contenidos de proteína en el grano, follaje y tallo, demostró una mayor eficiencia en el uso de agua para la formación de grano y registró el mas alto índice de cosecha. Menciona también que en las dos especies el mas alto contenido de proteína de los órganos analizados se alcanzó al conjuntar la mayor dosis de nitrógeno con bajos contenidos de humedad del suelo.

Del Río (1988) evaluó los efectos del Contenido Relativo de Agua (CRA) sobre *Amaranthus hypochondriacus* L. en condiciones de sequía, encontrando que la pérdida de turgencia de los tejidos foliares se encuentra alrededor de 0.51 de CRA y definió el punto de inicio de daño celular en 0.42 de CRA. Concluyó además que éste parámetro no puede ser medido eficientemente cuando existe daño celular.

Por otro lado, Villasana (1988) en su trabajo sobre la determinación de características morfológicas y fisiológicas que confieren resistencia a la sequía al Amarantho (*Amaranthus hypochondriacus* L.) montó un experimento con macetas a la intemperie integrado por dos fases, bajo un diseño completamente al azar con 8 repeticiones. Tuvo un testigo (T) siempre en buenas condiciones de humedad en tanto que los tratamientos de sequía 1 y 2 les aplicó por un período de 15 días (cuando el 75% de las plantas tuvieron visible su inflorescencia) el 40% y 20% de humedad aprovechable respectivamente.

En la fase 1 evaluó después del período de sequía: Potencial hídrico, y sus componentes ( $\psi_m$  y  $\psi_p$ ), contenido relativo de agua (C.R.A.), crecimiento de la hoja, transpiración, área foliar, frecuencia estomática, acumulación de ceras, materia seca de vástago, peso y volumen de raíz y la relación raíz/vástago. En la fase 2 que denominó de recuperación, evaluó a 8 días después del riego de recuperación: Crecimiento de la hoja, y contenido relativo de agua; y en la cosecha, la recuperación en peso y volumen de raíz y el rendimiento económico.

Además, estableció experimentos complementarios para evaluar el crecimiento radical en bolsas tubulares de polietileno y en rizotrones.

El testigo y los tratamientos 1 y 2 tuvieron un potencial hídrico ( $\psi$ ) de -5.9, -7.5 y -9.4 bars; un  $\psi_m$  de -13.0, -16.6 y -18.6 bars y un  $\psi_p$  de 7.0, 9.0 y 9.2 bars, respectivamente. Los tratamientos 1 y 2 tuvieron 85.87 y 75.23% del C.R.A.; 96.33 y 94.46% de la longitud de la hoja; 70.49 y 51.67 de la transpiración; 79.97 y 77.28% del área foliar; 125.5 y 172.25% de la acumulación de ceras, 105.58 y 117.5% de la frecuencia estomática adaxial; 107.45 y 109.31% de la frecuencia estomática abaxial; 79.93 y 78.05% de la materia seca; 80.39 y 76.02% del volumen de raíz; 91.04 y 89.43% de la relación raíz/vástago y 80.5 y 74.6% del rendimiento, en relación al testigo en todos los casos. El período de sequía aplicado afectó el estado hídrico de la planta disminuyendo su potencial hídrico. Sin embargo, la planta mantiene una elevada turgencia de sus células gracias a que presenta un ajuste osmótico, consecuentemente el crecimiento foliar se mantiene alto en los tratamientos de sequía.

La transpiración se redujo notoriamente durante el período de sequía mediante dos pasos. En el primero ocurre cierre de estomas y en el segundo, influyen las ceras y caída de hojas. La frecuencia estomática sólo manifiesta un ligero incremento conforme aumenta el déficit hídrico en los tratamientos.

El área foliar fué afectada significativamente por la sequía, principalmente vía caída de hojas, lo cual disminuye la fotosíntesis afectando la materia seca final.

El sistema radical tuvo menor volumen y peso seco en los tratamientos de sequía. Sin embargo, mostró una gran capacidad de absorción de agua cuando estuvo disponible, favoreciendo la rápida recuperación de la planta. Debido al efecto casi proporcional de

la sequía sobre las porciones aérea y radical no se originaron cambios significativos en la relación raíz/vástago. Al final se redujo el rendimiento de grano a causa de la sequía, aunque la producción puede considerarse buena en estas condiciones.

Concluyó que el mecanismo de resistencia a sequía mostrado por el Amarantho, incluye la disminución de la transpiración (vía control estomático, abscisión de hojas y acumulación de ceras) y la presencia de un ajuste osmótico para mantener niveles altos de turgencia. Además de que la planta presenta gran poder de absorción cuando hay agua disponible.

### III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL.

Determinar las características de las respuestas morfológicas y fisiológicas durante la fase vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. sometido a dos niveles de tensión hídrica, manteniendo constante el agua del suelo a 20, 60 y 100% (testigo) de humedad aprovechable a partir del día 40 después de la siembra.

##### 3.1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

a) Evaluar el área foliar, diámetro del tallo, volumen de raíces y razón vástago/raíz como respuestas morfológicas durante la etapa vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso bajo tensión hídrica, 20, 60 y 100% de humedad aprovechable.

b) Evaluar en contenido de ceras, transpiración, frecuencia estomática, contenido relativo de agua y potencial hídrico como respuestas fisiológicas durante la etapa vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso bajo tensión hídrica, 20, 60 y 100% de humedad aprovechable.

c) Detectar las variables que se asocian en comportamiento como respuesta a la deficiencia de humedad y aquellas que pudieran ser consideradas como indicadoras de sequía durante la fase vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado bajo las mismas condiciones.

#### 3.2 HIPOTESIS.

La deficiencia de humedad afecta de manera diferencial la producción de biomasa y el comportamiento de las respuestas morfológicas y fisiológicas durante la fase vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L.

#### IV. METODOLOGIA

##### 4.1 SITIO DE TRABAJO

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, U.N.A.M. en los espacios proporcionados por el Jardín Botánico-Invernadero y Laboratorio de Biología Celular-Fisiología vegetal principalmente.

##### 4.1.1 MATERIAL BIOLÓGICO

Se trabajó con *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo chinampa, cuya clave de manejo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) es 32C1133-G del estado de Morelos. Las semillas fueron proporcionadas por el M. en C. Carlos Acosta Zamudio de la Universidad Autónoma de Chapingo. Las características generales de dicha especie se manejaron en la revisión de literatura.

##### 4.1.2 SUSTRATO

Se utilizó un suelo de textura arenosa (98% arena, 2% arcilla) la cual se determinó con la técnica de Bouyoucos modificada. Posteriormente se sometió a un proceso de tamizado con una malla de 3mm. de diámetro, para eliminar organismos patógenos y evitar la germinación de semillas no deseadas se trató con formol al 1% de la siguiente manera: Se saturó el suelo con dicha solución y se cubrió con plástico durante 72 horas, evitando así la rápida volatilización de los gases, después de esto se removió y se dejó evaporar el formol.

##### 4.1.3 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD A CAPACIDAD DE CAMPO (C.C.) Y EN EL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (P.M.P.)

Como trabajo previo a la parte experimental se determinó el porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC) y en el punto de marchitez permanente (PMP), para ello se mandó una muestra de suelo a la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) a través del M. en C. Carlos Acosta Zamudio, donde se corrió la curva de tensión de humedad a 0.3 atmósferas para capacidad de campo, obteniendo un valor de 8.76 y a 15 atmósferas para el punto de marchitez permanente, cuyo valor fue de 4.15. Los valores tan cercanos se explican por la textura del suelo manejado.

##### 4.1.4 AJUSTE DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Cada una de las unidades experimentales utilizadas (bolsas de polietileno negro, 30 x 30cm.) se ajustaron a 5500 gramos de suelo seco. Para obtener el valor de 100% de humedad aprovechable (CC) se tomó en cuenta el dato proporcionado por el centro de

edafología de Chapingo a 0.3 atmósferas. Con ese valor y el peso de suelo seco de las macetas se calculó el peso de las mismas a capacidad de campo. Del mismo modo se obtuvo el peso correspondiente a cero por ciento de humedad aprovechable (PMP), en este caso, utilizando el valor obtenido a 15 atmósferas.

#### 4.1.5 SIEMBRA, DISTRIBUCION Y ARREGLO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

El diseño cubrió 3 tratamientos en los cuales se realizaron 5 evaluaciones con 5 repeticiones para cada una en un tiempo de 90 días. Se utilizaron un total de 75 unidades experimentales distribuidas al azar bajo humedad controlada de la siguiente manera:

20% H.A.	25 unidades experimentales.
60% H.A.	25 unidades experimentales.
100% H.A. (testigo)	25 unidades experimentales.

La siembra se realizó en forma directa colocando de 7 a 10 semillas en cada unidad experimental en forma equidistante. Todas ellas se mantuvieron a capacidad de campo durante 40 días para permitir una buena germinación y desarrollo inicial de las plántulas. Doce días después de ocurrida la siembra se aplicó la primera dosis de fertilización disolviendo 100g de fertilizante comercial triple 17 en 15 litros de agua, aplicando 100ml. de esta solución a todas las unidades experimentales. Un mes después de la siembra cuando las plantas alcanzaron de 15 a 25 centímetros aproximadamente se realizó el aclareo, dejando sólo 3 plantas por cada unidad experimental, se procuró tener la mayor homogeneidad posible, y se aplicó otra dosis de fertilización de manera similar a la primera, cabe aclarar que el fertilizante se aplicó sólo con el fin de lograr un crecimiento adecuado de las plantas manejadas. En el día 40 después de la siembra, con el peso de cada unidad experimental previamente determinado se ajustó la humedad del suelo para cada tratamiento utilizado (20, 60 y 100% de H.A.), manteniendo constante el porcentaje de humedad en base al peso calculado hasta el final de las evaluaciones. La primera evaluación se realizó en el día 50 después de la siembra, realizándose posteriormente 4 evaluaciones más con un intervalo de 10 días de las variables morfológicas y fisiológicas que a continuación se mencionan:

##### MORFOLOGICAS

- Area Foliar, incluyendo las hojas caídas (A.F.)
- Diámetro del Tallo (D.T.)
- Volumen de raíces (Vr.)
- Razón vástago/raíz (V/R)

##### FISIOLOGICAS

- Ceras (C.)
- Transpiración (Tr.)
- Frecuencia estomática (Est.)
- Contenido relativo de agua (C.R.A.)
- Potencial hídrico ( $\psi$ )

## 4.2 EVALUACIONES MORFOLOGICAS Y FISIOLÓGICAS

Con el fin de cubrir adecuadamente el número de evaluaciones planteadas se propuso el siguiente orden de medición:

- 1) Transpiración
- 2) Contenido relativo de agua
- 3) Ceras
- 4) Potencial hídrico
- 5) Frecuencia estomática
- 6) Área foliar, incluyendo hojas caídas
- 7) Diámetro del tallo
- 8) Volumen de raíces
- 9) Razón vástago/raíz

### 4.2.1 TRANSPIRACION

Se evaluó por el método de lisimetría volumétrica, el cual consiste en ajustar el peso para cada tratamiento en las primeras horas del día, cubrir la superficie de la maceta (unidad experimental) con papel aluminio, dejarla en su sitio experimental y pesar nuevamente en las últimas horas de la tarde. En este caso el peso inicial se tomó a las 6:30 A.M. y el peso final a las 18:30 horas. La cantidad de agua transpirada se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$T = (P_i - P_f) / A.F.$$

Donde:

- T = Transpiración
- P<sub>i</sub> = Peso inicial
- P<sub>f</sub> = Peso final
- A.F. = Área foliar

### 4.2.2 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA

Se evaluó en la hoja número 8 de cada unidad experimental mediante la cuantificación del peso fresco de 10 discos foliares de 5mm de diámetro, para luego colocarlos en agua destilada durante 4 horas a 25 grados centígrados y en oscuridad con el fin de obtener el peso turgente máximo (Del Rio, 1988), para finalmente secarlos al horno y registrar su peso.

$$C.R.A. = (P_f - P_s) / (P_t - P_s) \times 100$$

Donde:

- C.R.A. = Contenido relativo de agua
- P<sub>f</sub> = Peso fresco
- P<sub>s</sub> = Peso seco
- P<sub>t</sub> = peso turgente

#### 4.2.3 CERAS

El contenido de ceras se determinó en la hoja número 9 de cada unidad experimental de acuerdo al método de Ebercon y Blum (1977) citado por Arriaga (1985) que consiste en la inmersión de 15 discos en un área total de 30 cm cuadrados (en ambas superficies) en 15ml. de cloroformo durante 15 segundos. Después de evaporarlo en baño maría se mide en un espectrofotómetro a 590 nm. el cambio de color producido al reaccionar la cera con el dicromato de potasio acidificado (20g/lit.  $H_2SO_4$  concentrado), teniendo presente que a mayor cantidad de cera produce mayor intensidad de color (Arriaga, 1985). La concentración se obtiene por una curva patrón preparada con polietilenglicol 3000 con un intervalo de 1 a 5 miligramos. En la ordenada se grafica la absorbancia y en la abscisa la concentración.

#### 4.2.4 POTENCIAL HIDRICO

Al igual que el C.R.A., esta evaluación se realizó en la hoja número 8 de cada unidad experimental mediante el método de la cámara de Scholander, el cual consiste en introducir una lámina foliar con peciolo seccionado dentro de una cámara de presión y sellarla, dejando la parte seccionada hacia afuera. Se aplica presión hasta que aparezca savia del xilema en la superficie del corte. La cantidad de presión que deba ejercerse para impulsar el agua de las células foliares nuevamente xilema adentro, se considera igual al potencial hídrico de las células foliares (Kramer, 1974).

#### 4.2.5 FRECUENCIA ESTOMATICA

Se evaluó en la hoja número 9 de cada unidad experimental mediante el método de réplica para obtener impresiones de la superficie foliar (Sevilla, 1983, citado por Arriaga, 1985), el cual consiste en colocar una gota de pegamento instantáneo krazy kolalcka sobre un portaobjetos para después presionar la superficie abaxial de la hoja a la altura de la porción media durante 5 minutos aproximadamente y después separarlo, obteniendo así una réplica de la epidermis. Los conteos se realizaron a 400 aumentos en la porción central de la hoja. Cada dato presentado en los resultados es el promedio de 5 conteos diferentes en la misma unidad experimental.

#### 4.2.6 AREA FOLIAR, INCLUYENDO HOJAS CAIDAS

Esta evaluación se realizó con la técnica de impresión por fotocopiado la cual consiste en cortar todas las láminas foliares de la unidad experimental, fijarlas en hojas blancas y fotocopiarlas, quedando en el papel la impresión de los folíolos para después recortar el entorno, pesarlos y obtener el área foliar a través del peso de un área conocida. Para mayor precisión en el cálculo del A.F. se tomaron también aquellas hojas que como consecuencia de la deficiencia de humedad se desprendieron de la planta.



#### 4.2.7 DIAMETRO DEL TALLO

El diámetro del tallo se evaluó en el entrenudo de la hoja 7 y 8 contadas de la base hacia el ápice con vernier de capacidad mínima de 0.01cm.

#### 4.2.8 VOLUMEN DE RAICES

Se midió por desplazamiento de agua en una probeta graduada de 500 ml. y capacidad mínima de medición de 5ml.

#### 4.2.9 RAZON VASTAGO/RAIZ

Se determinó mediante la relación peso seco de la porción aérea dividido entre el peso seco del sistema radical (Ballesteros, 1983, citado por Arriaga, 1985).

## V. RESULTADOS

Los siguientes cuadros muestran los resultados de las evaluaciones morfológicas y fisiológicas de *A. hypochondriacus* L. de los tratamientos planteados en el diseño experimental. Los datos se presentan en grupos de 5 los cuales indican que las mediciones se realizaron en diferentes tiempos (intervalos de 10 días a partir del 50 después de la siembra).

### 100% DE HUMEDAD APROVECHABLE (H. A.)

A. F.	Vr.	D. T.	C. R. A.	Tr.	P. S. T.	Est.	$\psi$	V/R
642.976	25	0.50	0.940	82	7.331	14	5.5	2.816
742.772	25	0.52	0.953	72	7.508	12	5.0	2.920
639.145	25	0.52	0.953	86	9.353	14	7.5	1.194
533.536	15	0.43	0.960	69	5.544	10	5.5	1.625
197.554	05	0.31	0.870	77	2.690	16	3.3	2.330
1803.599	65	0.62	0.920	89	27.627	10	4.8	0.850
1828.920	75	0.66	0.844	96	31.530	13	5.9	0.732
2306.684	65	0.73	0.991	85	28.031	16	6.9	1.151
1208.997	30	0.49	0.920	70	13.065	16	4.5	1.303
1871.080	65	0.69	0.915	94	24.317	13	3.4	1.150
2152.116	60	0.69	0.935	93	25.465	15	3.3	1.655
2303.653	65	0.72	0.864	80	30.813	16	4.1	1.879
1177.283	25	0.53	0.872	102	11.591	14	5.6	2.672
2010.334	60	0.68	0.873	80	25.116	17	4.4	2.179
2623.697	75	0.68	0.920	69	31.437	19	5.2	2.171
1713.317	45	0.55	0.871	105	20.511	22	4.5	2.879
2433.645	70	0.61	0.900	66	35.648	18	5.1	2.593
2029.895	70	0.63	0.915	86	31.375	20	5.0	3.108
2582.779	75	0.69	0.894	68	35.072	22	5.8	2.573
2420.642	65	0.69	0.910	66	33.944	18	4.7	2.934
2387.333	55	0.78	0.840	86	41.172	15	7.6	1.288
2353.732	50	0.78	0.871	74	39.827	19	6.9	1.429
2255.350	55	0.81	0.865	84	43.215	19	8.0	1.447
2574.635	50	0.75	0.851	68	41.165	20	6.1	1.351
2626.305	55	0.75	0.831	53	40.315	19	5.9	1.521

Cuadro 1.

Resultados obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación para las variables de respuesta durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. Los grupos indican que en cada tiempo se realizaron cinco repeticiones.

Continúa, 100% H. A.

A. F. E.	R. A. F.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.	Ceras
178.803	87.706	3.596	1.814	1.921	neg.
202.327	99.357	3.686	1.860	1.960	neg.
185.744	68.336	3.441	1.649	4.263	neg.
237.022	96.237	2.251	1.181	2.112	neg.
159.963	73.441	1.235	0.623	0.832	neg.
280.978	65.284	7.136	5.611	14.880	neg.
279.994	58.006	7.348	5.975	18.207	neg.
288.263	82.290	6.612	6.390	13.029	neg.
298.813	92.537	4.746	2.645	5.674	neg.
281.864	76.945	7.563	5.461	11.323	neg.
257.708	84.513	9.012	6.863	9.590	neg.
234.755	74.762	10.408	9.701	10.704	neg.
240.606	101.569	5.233	3.201	3.157	neg.
225.450	80.042	9.700	7.515	7.901	neg.
256.170	83.459	11.222	10.302	9.913	neg.
242.576	83.532	8.281	6.942	5.288	neg.
218.069	68.269	12.888	12.839	9.921	neg.
192.538	64.698	11.453	12.285	7.637	neg.
218.011	73.642	13.041	12.215	9.816	neg.
211.354	71.208	12.431	12.921	8.642	neg.
230.060	57.844	11.242	11.944	18.036	neg.
223.208	59.099	11.816	11.615	16.396	neg.
208.250	52.189	11.941	13.615	17.659	neg.
244.900	62.544	11.638	12.020	17.507	neg.
245.679	65.145	12.179	12.143	15.993	neg.

Cuadro 2.

Continuación de los resultados obtenidos para cada variable de respuesta evaluadas durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. La columna de ceras indica resultados negativos.

## 60% DE HUMEDAD APROVECHABLE (H. A.)

A. F.	Vr.	D. T.	C. R. A.	Tr.	P. S. T.	Est.	$\psi$	V/R
365.226	12	0.43	0.835	20	5.848	17	6.2	2.898
428.949	10	0.40	0.800	62	5.166	12	6.8	2.211
686.012	20	0.46	0.879	70	6.986	14	4.4	2.457
1001.945	30	0.56	0.898	59	10.683	15	5.7	2.843
299.843	20	0.38	0.825	55	6.647	13	8.2	0.783
316.710	10	0.34	0.903	16	3.901	13	6.6	1.407
905.913	30	0.34	0.930	72	11.068	10	4.9	1.047
1968.272	70	0.65	0.988	89	29.297	10	5.6	0.879
1143.059	35	0.56	0.880	79	15.635	16	4.5	1.382
1847.044	55	0.69	0.925	70	22.901	11	5.4	1.544
1639.777	50	0.68	0.869	91	24.045	17	3.8	1.659
1630.423	50	0.61	0.915	64	23.288	14	6.2	1.802
2073.274	45	0.68	0.902	68	25.922	21	4.4	1.871
752.873	25	0.43	0.804	93	8.463	16	4.6	2.195
1473.408	40	0.56	0.797	68	18.120	16	3.5	1.932
1149.553	25	0.42	0.958	117	13.147	18	5.6	3.151
1549.323	25	0.50	0.894	68	14.136	16	2.6	3.950
1662.500	35	0.54	0.919	72	16.764	18	4.6	3.215
959.420	20	0.54	0.933	104	11.390	19	5.0	3.264
1911.145	45	0.54	0.883	68	21.930	20	4.3	3.393
2283.794	35	0.78	0.828	50	31.828	15	5.4	1.501
1801.018	50	0.67	0.812	72	28.913	15	5.0	1.432
1867.563	40	0.71	0.838	70	30.251	19	5.4	1.401
2051.931	45	0.69	0.831	56	31.496	16	5.9	1.594
1859.081	35	0.58	0.856	70	21.850	13	4.4	1.334

## Cuadro 9.

Resultados obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación para las variables de respuesta durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. sometido a sequía. En cada tiempo se realizaron cinco repeticiones.

Continúa, 60% H. A.

A. F. E.	R. A. F.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.	Ceras
141.890	68.292	2.574	2.402	1.372	neg.
179.777	83.033	2.386	2.171	1.609	neg.
212.981	98.198	3.221	1.744	2.021	neg.
198.641	93.789	5.044	2.992	2.827	neg.
153.137	45.110	1.958	1.960	3.729	neg.
258.750	81.187	1.470	0.810	1.621	neg.
267.073	81.850	3.806	2.107	5.153	neg.
275.704	67.183	7.698	6.011	15.588	neg.
235.718	73.109	5.266	3.804	6.565	neg.
240.845	80.653	8.635	5.264	9.002	neg.
216.187	68.196	8.295	6.707	9.043	neg.
209.378	70.011	8.302	6.674	8.312	neg.
237.207	79.981	9.314	7.578	9.030	neg.
235.052	88.961	3.455	2.359	2.649	neg.
221.665	81.314	6.946	5.035	6.139	neg.
218.962	87.438	5.608	9.043	3.167	neg.
261.313	109.601	6.293	8.312	2.856	neg.
240.768	99.171	7.361	9.030	4.041	neg.
199.132	84.234	5.185	2.649	2.665	neg.
224.867	87.148	9.101	6.139	4.990	neg.
247.727	71.754	9.710	4.372	12.728	neg.
212.937	62.291	9.109	4.987	11.889	neg.
207.853	61.736	9.989	5.362	12.597	neg.
224.943	65.149	9.939	3.540	12.140	neg.
292.216	85.084	7.387	7.839	9.362	neg.

Cuadro 4.

Continuación de los resultados obtenidos a través del tiempo para las diferentes variables de respuesta evaluadas durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. sometido a sequía. La columna de ceras muestra resultados negativos.

## 20% DE HUMEDAD APROVECHABLE (H. A.)

A. F.	Vr.	D. T.	C. R. A.	Tr.	P. S. T.	Est.	$\psi$	V/R
701.201	25	0.51	0.852	32	9.178	18	6.5	2.185
289.499	15	0.35	0.735	59	4.474	15	15.4	2.131
240.972	10	0.30	0.747	44	2.985	13	19.6	1.795
522.682	10	0.39	0.731	37	5.473	14	16.7	2.825
759.823	20	0.45	0.776	49	8.078	15	7.3	2.796
481.620	15	0.37	0.851	31	5.540	13	11.3	1.516
758.226	30	0.46	0.985	13	13.489	17	8.5	0.780
665.911	50	0.57	0.994	90	20.859	17	12.6	0.726
751.519	30	0.50	0.924	80	14.030	12	9.8	1.334
352.227	20	0.34	0.878	71	8.05	15	10.8	0.955
1044.454	35	0.47	0.796	67	14.987	15	11.3	2.040
734.031	20	0.42	0.792	68	9.747	19	7.4	1.596
667.350	20	0.44	0.807	52	8.628	26	12.3	1.856
1211.626	30	0.57	0.803	58	16.860	16	1.1	1.535
916.030	30	0.56	0.800	87	12.766	19	8.5	2.073
1300.279	15	0.49	0.901	62	15.079	16	4.0	5.942
1200.370	30	0.52	0.943	54	15.147	17	4.0	3.215
771.941	20	0.41	0.998	123	8.971	20	7.6	3.030
608.345	15	0.34	0.920	140	6.274	21	6.9	3.256
774.993	20	0.40	0.867	116	10.895	18	11.1	2.307
1205.376	20	0.51	0.776	62	16.850	16	6.6	1.544
1403.053	20	0.66	0.817	68	17.398	16	7.9	1.416
1736.267	35	0.54	0.772	40	23.480	17	6.2	1.503
724.817	15	0.52	0.777	55	11.099	20	5.5	1.184
1389.200	25	0.64	0.771	43	19.676	19	9.3	1.411

Cuadro 5.

Resultados obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación para las variables de respuesta durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. sometido a sequía. En cada tiempo se realizaron cinco repeticiones.

Continúa, 20% H. A.

A. F. E.	R. A. F.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.	Ceras
181.943	76.401	3.854	2.442	2.882	neg.
145.917	64.707	1.984	1.061	1.429	neg.
184.936	80.728	1.303	0.614	1.068	neg.
208.240	95.502	2.510	1.532	1.431	neg.
214.337	94.061	3.545	2.405	2.128	neg.
283.640	86.935	2.086	1.252	1.202	neg.
271.683	56.211	3.736	2.173	7.580	neg.
168.159	31.924	5.003	3.768	12.088	neg.
176.289	12.265	4.430	3.590	6.010	neg.
164.002	20.373	2.489	1.444	4.117	neg.
193.453	69.691	5.729	4.328	4.930	neg.
204.922	75.308	3.812	2.180	3.755	neg.
191.712	77.347	3.706	1.901	3.021	neg.
214.333	71.864	5.943	4.267	6.650	neg.
193.542	71.756	5.067	3.545	4.154	neg.
216.894	86.231	6.272	6.635	2.172	neg.
186.596	79.248	6.655	4.898	3.594	neg.
193.614	86.048	4.253	2.492	2.226	neg.
225.899	96.963	2.902	1.898	1.474	neg.
199.381	79.133	4.126	3.474	3.295	neg.
204.137	71.536	6.088	4.138	6.624	neg.
235.372	80.644	6.250	3.947	7.201	neg.
247.578	73.947	7.696	6.405	9.379	neg.
204.115	65.305	3.697	2.250	5.152	neg.
219.602	70.604	6.953	4.736	8.287	neg.

Cuadro 6.

Continuación de los resultados obtenidos a través del tiempo para las diferentes variables de respuesta evaluadas durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. sometido a sequía. La columna de ceras muestra resultados negativos.

## VI. DISCUSION

Para conocer el comportamiento de las variables de respuesta en los tratamientos manejados se obtuvieron los promedios de las cinco repeticiones realizadas en los diferentes tiempos de evaluación, y se construyeron gráficas de los parámetros morfológicos y fisiológicos como a continuación se indica:

VARIABLE EVALUADA	H. A.	TIEMPOS DE EVALUACION (DIAS)				
		50	60	70	80	90
A. F.	20%	502.83	601.90	914.69	931.18	1291.58
	60%	556.39	1236.19	1513.95	1446.38	1972.67
	100%	551.79	1803.95	2053.41	2236.05	2439.47
A. F. E.	20%	187.07	212.75	199.59	204.47	222.16
	60%	177.28	259.61	223.89	229.00	216.50
	100%	192.77	285.98	242.93	216.50	230.41
R. A. F.	20%	82.28	41.54	73.19	83.92	72.40
	60%	77.68	76.79	77.69	93.51	69.20
	100%	85.01	75.01	84.86	72.27	59.36
Est.	20%	15	15	19	18	18
	60%	14	12	17	18	16
	100%	13	14	16	20	18
C. R. A.	20%	76.84	92.65	79.94	92.56	78.25
	60%	84.74	92.43	85.75	91.75	83.31
	100%	93.12	91.72	89.27	89.80	85.09
$\psi$	20%	13.10	10.60	8.10	6.80	7.09
	60%	6.25	5.40	4.50	4.40	5.19
	100%	5.74	5.12	4.50	5.00	6.90
Tr.	20%	44.20	57.00	66.40	99.00	53.59
	60%	53.20	65.19	76.80	85.80	63.59
	100%	78.40	86.80	84.80	78.19	73.00
D. T.	20%	0.40	0.44	0.48	0.43	0.59
	60%	0.44	0.52	0.59	0.51	0.68
	100%	0.44	0.64	0.65	0.63	0.77
Vr.	20%	16	29	27	20	23
	60%	18	40	42	30	41
	100%	19	60	57	65	53

Cuadro 7.

Promedios obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación (cuadros 1 a 6) para cada variable de respuesta durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso y tres niveles de humedad aprovechable (H. A.)



Continúa cuadro de promedios.

VARIABLE EVALUADA	H. A.	TIEMPOS DE EVALUACION (DIAS)				
		50	60	70	80	90
D. A. F.	20%		789.88	1084.36	1319.80	1589.39
	60%		1282.08	1966.35	2116.64	2444.63
	100%		1684.28	2757.94	3066.97	3343.00
P. S. H.	20%	2.63	3.54	4.85	4.84	6.13
	40%	3.03	5.37	7.26	6.70	9.22
	100%	2.84	7.08	9.11	11.61	11.76
P. S. Ta.	20%	1.61	2.44	3.24	3.87	4.29
	60%	1.65	3.60	5.67	5.22	7.89
	100%	1.42	5.21	7.51	11.44	12.27
P. S. R.	20%	1.78	6.40	4.50	2.55	7.32
	60%	2.31	7.58	7.03	3.54	11.74
	100%	2.21	12.62	8.25	8.26	17.11
P. S. T.	20%	6.03	12.39	12.59	11.27	17.70
	60%	6.96	16.56	19.96	15.47	28.86
	100%	6.48	24.91	24.88	31.32	41.15
V/R	20%	2.34	1.06	1.82	3.54	1.40
	60%	2.23	1.27	1.89	3.39	1.45
	100%	2.13	1.03	2.11	2.81	1.40

Cuadro 8.

Continuación de los promedios obtenidos en los diferentes tiempos de evaluación para cada variable de respuesta durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso y tres niveles de humedad aprovechable (H.A.). La D.A.F. solo muestra cuatro promedios ya que representa la diferencia de áreas por la diferencia de tiempos en las mediciones realizadas.

## 6.1 VARIABLES RELACIONADAS CON EL AREA FOLIAR

### 6.1.1 AREA FOLIAR (A.F.)

El desprendimiento de las hojas o la menor producción de área foliar es una forma común de reducir la pérdida de agua. La reducción de la superficie total de las hojas de la planta se ha considerado como uno de los factores más importantes para la sobrevivencia de algunas plantas con deficiencia de humedad, para ellas es común la pérdida de hojas inferiores. Para el caso específico de *Amaranthus hypochondriacus* L. en el presente diseño se observó el siguiente comportamiento:

En la figura 1, se puede observar que los tres tratamientos presentaron un ritmo de incremento foliar directamente proporcional con respecto al tiempo, el cual tuvo su mayor intensidad de la primera a la segunda evaluación para los tratamientos testigo y 80% de H.A., manteniéndose moderado para el tratamiento con 20% de H.A. Los coeficientes de determinación obtenidos a partir del modelo de regresión lineal muestran los siguientes valores: 0.79 para el tratamiento testigo, 0.87 para el 80% de H.A. y 0.94 para el 20% de humedad aprovechable. La velocidad con la cual se incrementó el área foliar fue mostrada por los valores de la pendiente de cada tratamiento: 42.075 para el testigo, 30.428 para el 80% de H.A. y 19.071 para el 20% de humedad aprovechable.

De esta manera se pudo determinar que el tratamiento con 80% de H.A. incrementó su área foliar en un 72.30% y el tratamiento con 20% de H.A. en un 45.30% con respecto al testigo a lo largo de las evaluaciones realizadas.

Si consideramos la productividad total del área foliar como la acumulada a lo largo de las cinco evaluaciones realizadas, el 80% de H.A. cubrió el 74.48%, mientras que el tratamiento con 20% de humedad aprovechable alcanzó el 46.70% del total de área foliar producida por el testigo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Villasana (1988).

De lo anterior se puede inferir que la deficiencia de humedad afecta el incremento de área foliar en *Amaranthus hypochondriacus* L. y que las diferencias no significativas durante la primera evaluación se atribuyen al corto periodo de exposición de los tratamientos experimentales a la deficiencia de humedad ya que al realizar la primera evaluación sólo habían transcurrido diez días de control de humedad.

La menor producción de área foliar en los tratamientos experimentales no se atribuye a la caída de hojas como supone Villasana (1988) y May y Milthorpe, (1962) que consideran a la abscisión como un mecanismo de resistencia a la sequía, ya que en este caso se evaluaron aún las hojas caídas, existiendo a pesar de ello diferencias significativas entre tratamientos. La menor producción de área foliar quizá es una estrategia de la planta para producir menor biomasa y no perecer ante periodos prolongados de sequía.

## AREA FOLIAR VS TIEMPO

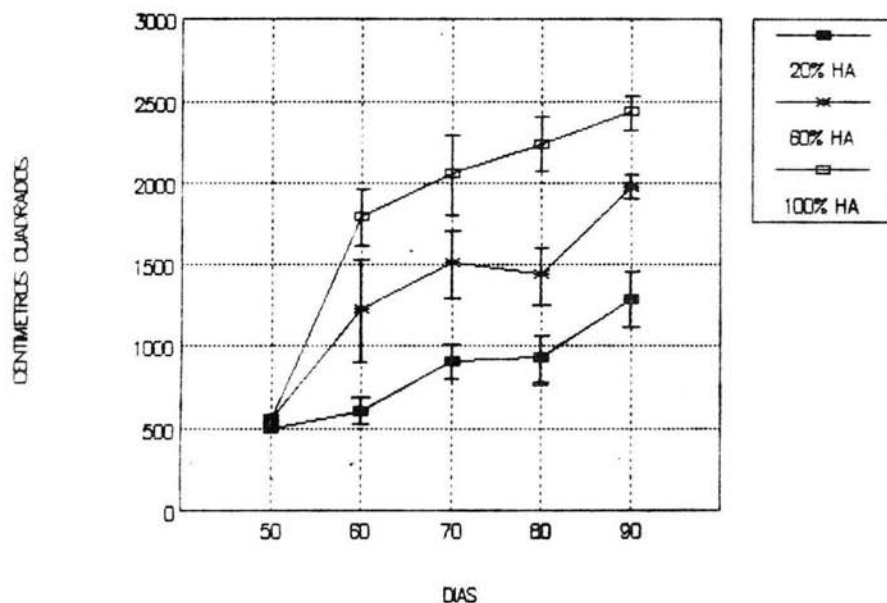


Fig. 1.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el área foliar durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Nótese, durante la primera evaluación no se observan diferencias significativas entre tratamientos debido al corto periodo de control de humedad en las unidades experimentales. Al igual que en las gráficas siguientes cada punto es el promedio de cinco repeticiones.

### 6.1.2 AREA FOLIAR ESPECIFICA (A.F.E.)

El área foliar específica representa la relación que existe entre la fotosíntesis y la respiración en la parte aérea de la planta. La actividad fotosintética de la planta está principalmente determinada por el área foliar total y por la actividad fotosintética de varias hojas.

El área foliar específica se evalúa con la siguiente fórmula:

$$A.F.E. = A.F./P_f$$

Donde:

A.F. = Área Foliar

P<sub>f</sub>. = Peso Foliar

La figura 2, muestra que los tratamientos tienen un comportamiento irregular a lo largo de las evaluaciones realizadas, alcanzando siempre (excepto en la evaluación número 4) los mayores valores de A.F.E. el tratamiento testigo, seguido del 60% y finalmente por el 20% de humedad aprovechable, lo cual está acorde con la evaluación del área foliar.

En este caso, el comportamiento de los tratamientos no se ajusta a un modelo de regresión lineal, ya que el peso seco foliar influye para que los coeficientes de determinación tengan valores muy bajos debido al comportamiento de éste índice.

La gráfica no se presenta diferencias significativas en la primera evaluación debido al corto periodo de control de humedad por parte de los tratamientos manejados, sin embargo; la sequía tiene su efecto en la segunda y tercera evaluación, aproximadamente en las 3/4 partes de la fase vegetativa del Amaranto. Para el periodo próximo a la floración no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual sugiere que la planta se encuentra en una relación óptima entre fotosíntesis y respiración para lograr una producción de grano que permita la sobrevivencia de la especie y la obtención de cosecha con deficiencia de humedad.

Durante las evaluaciones se observan incrementos y decrementos muy pronunciados. El incremento nos indica que el A.F. crece con rapidez, no así el P<sub>f</sub>. que se mantiene rezagado, quizá esto se deba a que en su fase temprana la planta contiene una gran cantidad de agua en sus tejidos. Después de la segunda evaluación el área foliar deja de crecer incrementándose el peso foliar. Este incremento de peso en las hojas con igual área foliar puede explicarse si se considera que las hojas se han esclerosado de manera significativa perdiendo agua y las que dominan no son hojas jóvenes.

## AREA FOLIAR ESPECIFICA VS TIEMPO

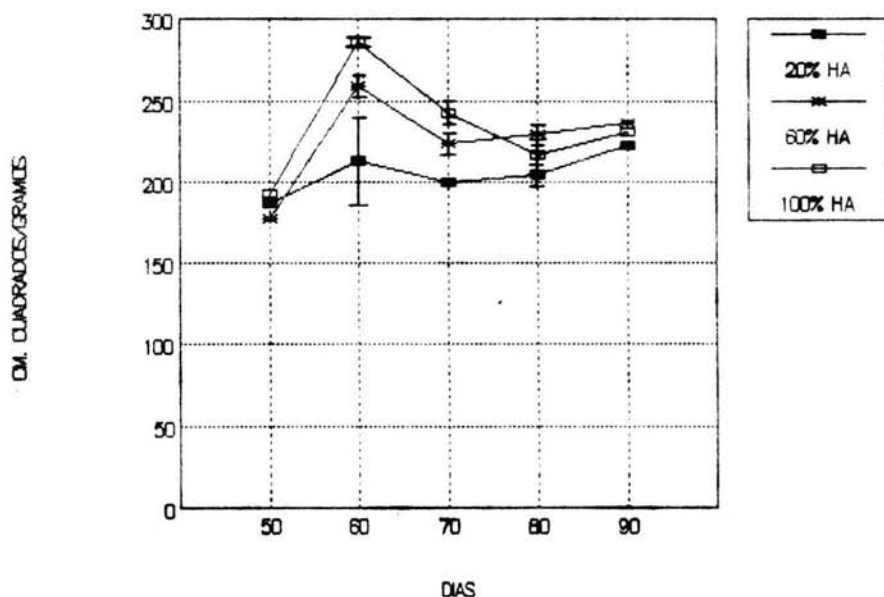


Fig. 1.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el área foliar específica durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. En esta gráfica se observan diferencias significativas únicamente en los días 60 y 70 después de la siembra, correspondientes a la segunda y tercera evaluación respectivamente.

### 6.1.3 RELACION DEL AREA FOLIAR (R.A.F.)

Hunt (1982) citado por Ramírez (1985) menciona que la R.A.F. representa la relación entre la fotosíntesis y la respiración dentro de la planta, se define con la siguiente fórmula:

$$R.A.F. = A.F. / Pt.$$

Sus unidades son  $cm^2/g$ .

Donde:

A.F. = Area Foliar

Pt. = Peso Total

La respuesta del tratamiento testigo (fig. 3) es inversamente proporcional con respecto al tiempo ya que si bien el área foliar se incrementa, también lo hace el peso seco total (P.S.T.), presentando un coeficiente de determinación de 0.66 y una pendiente de -0.54, lo que deja entrever que el peso seco total durante el ciclo fenológico de la planta se incrementa con mayor rapidez que el área foliar.

La respuesta observada en el tratamiento testigo concuerda con la obtenida por Ramírez (1985) en su trabajo sobre análisis del crecimiento y componentes del rendimiento de los híbridos de maíz H-30 y H-131 y de sus progenitores. En su trabajo observó los valores más altos en los primeros muestreos y fueron disminuyendo gradualmente conforme avanzó el tiempo, para lo cual supuso que al avanzar el ciclo biológico de la planta existe crecimiento y diferenciación de otros órganos entre los cuales será distribuido el peso seco producido.

Los tratamientos experimentales no concuerdan con lo obtenido por Ramírez (1985) ya que el 60% de H.A. presentó de los 50 a los 70 días una estabilización en el valor de la pendiente, de los 70 a los 80 días se observa un incremento superior a los 90  $cm^2/g$ , para luego descender hasta menos de 70  $cm^2/g$ . Esto sugiere que la planta mantiene un índice de R.A.F. más o menos constante durante su ciclo fenológico para éste tratamiento.

Por su parte el tratamiento con 20% de H.A. (fig. 3) mostró un comportamiento irregular conforme transcurría el ciclo fenológico de la planta, manifestando primero un decremento seguido de un ascenso rápido hasta los 80 días para después culminar con una ligera disminución en la etapa final de evaluación.

Las diferencias no significativas en la primera evaluación se atribuyen al corto periodo de deficiencia de humedad por parte de los tratamientos manejados. En la segunda evaluación se puede ver una asociación de los tratamientos testigo y 60% de H.A., mientras que para la tercera existen diferencias entre el testigo y el 20% de H.A. al igual que en la evaluación final. La sequía tiene su efecto momentos antes de la etapa reproductiva de la planta.

## RELACION AREA FOLIAR VS TIEMPO

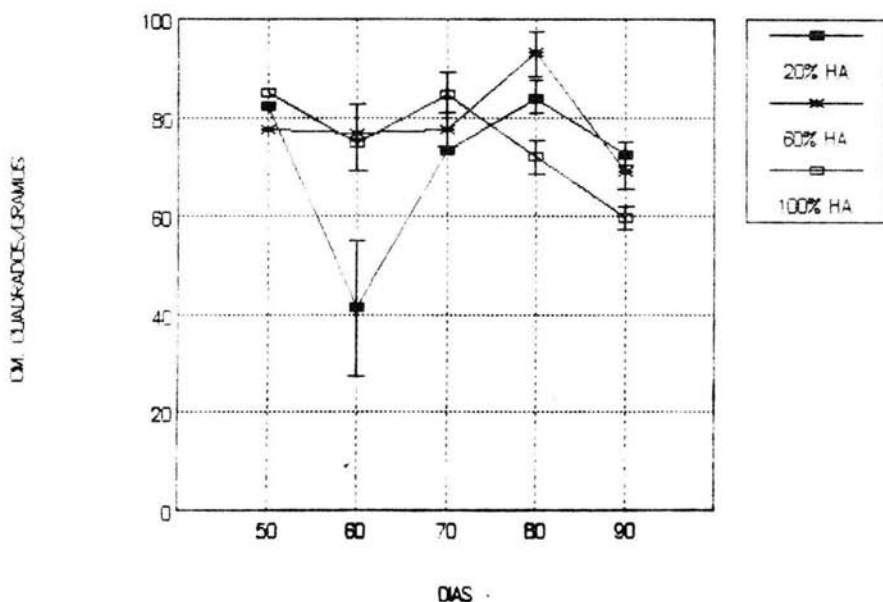


Fig. 3.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el índice Relación del Area Foliar durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Esta gráfica sólo muestra diferencias significativas entre tratamientos en la evaluación número 4 (80 días después de la siembra), en las evaluaciones 3 y 5 sin embargo, se observan diferencias significativas entre el tratamiento testigo y el 20% de H.A.

A diferencia de la A.F.E., en la R.A.F. se observan en las últimas evaluaciones diferencias entre tratamientos, lo cual puede ser atribuible a la distribución del peso seco en órganos destinados a la función reproductora de la planta. Lo anterior sugiere que aunque en la parte aérea existe un equilibrio entre la fotosíntesis y respiración, no puede mantenerse tal equilibrio dentro de toda la planta.

Quizá con un número mayor de evaluaciones en el mismo lapso de tiempo, se observaría un comportamiento más regular para los tratamientos experimentales.



## DURACION DE AREA FOLIAR VS TIEMPO

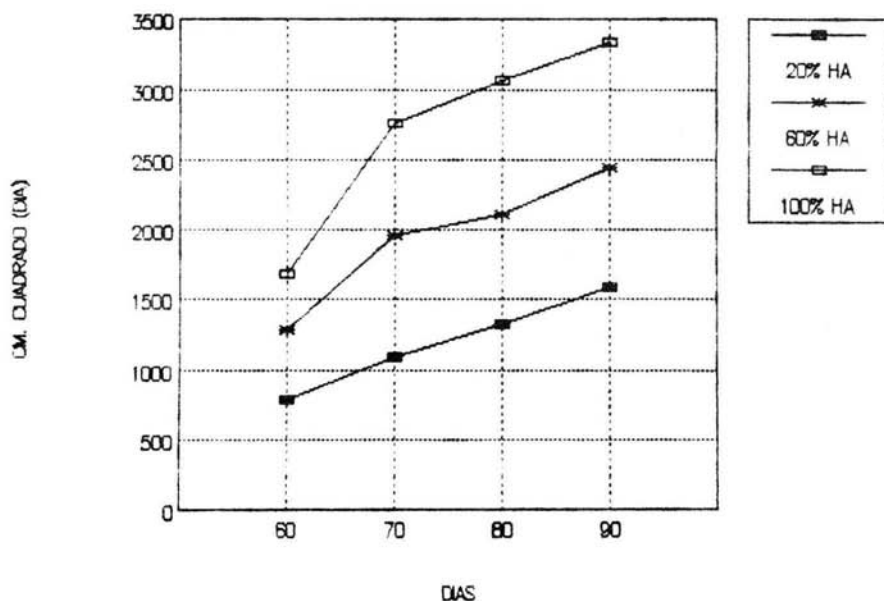


Fig. 4.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el índice Duración del Area Foliar durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. En esta gráfica no se presentan los errores standard ya que el índice D.A.F. se obtuvo a partir de la diferencia entre promedios del área foliar y los tiempos de evaluación, por la misma razón sólo se observan cuatro puntos para cada tratamiento.

#### 6.1.4 DURACION DEL AREA FOLIAR (D.A.F.)

Este concepto fue generado por Watson (1947), quien señala que "ésta función es una medida de la habilidad de la planta para producir y mantener el área foliar y por lo tanto de su oportunidad total para su asimilación". Hunt (1982) menciona que en la terminología utilizada en el análisis de crecimiento en la Unión Soviética, a la D.A.F. se le conoce como "potencial fotosintético".

La Duración del Area Foliar se define como:

$$D.A.F. = (A.F_1 - A.F_2)(t_2 - t_1) / 2$$

En la figura 4, la gráfica de D.A.F. muestra un comportamiento similar al del A.F. (fig. 1), sin embargo, la información que ésta proporciona es diferente ya que integra la cantidad de área foliar expuesta entre dos evaluaciones.

A éste respecto, Ramírez (1985) señala que en base a la información que proporciona la D.A.F. no es correcto llamar a éste parámetro como duración del área foliar, debido a que en el término duración está implícito el concepto de longevidad y bajo éste método de cálculo sólo se estima la cantidad del A.F. expuesta en un determinado periodo. Sabiendo sus limitaciones puede utilizarse el parámetro D.A.F. como tradicionalmente se ha venido manejando.

En la figura 4, al igual que en la 1, los tratamientos presentan una respuesta directamente proporcional con respecto al tiempo, con un coeficiente de determinación de 0.88 para el testigo, 0.92 para el 60% de H.A. y 0.99 en el caso del tratamiento con 20% de humedad aprovechable. La cantidad de productos fotosintéticos y como consecuencia de materia seca está en función del valor de la pendiente de los tratamientos: 52.85 para el testigo, 36.38 para el 60% de H.A. y 26.34 para el 20% de humedad aprovechable. Explicado en porcentaje, el tratamiento con 60%, tiene una fuente de productos fotosintéticos del 68.8% mientras que el 20% presentó 49.8% con respecto al testigo. Esto se ve claramente reflejado en las figuras 11, 12, 13 y 14 que muestran la distribución de peso seco.

## 6.2 VARIABLES RELACIONADAS CON LA TRANSPIRACION

### 6.2.1 NUMERO DE ESTOMAS (Est.)

Se ha demostrado que el número de estomas por unidad de área foliar varía entre los genotipos de cada especie y depende del control genético, ésta es una de las razones que tienen los autores para no coincidir siempre en las frecuencias obtenidas. Villasana (1988) al trabajar con *Amaranthus hypochondriacus* L. en condiciones de sequía no encontró diferencias significativas entre sus tratamientos manejados, pero observó un ligero incremento en el número de estomas conforme disminuía el contenido hídrico en sus tratamientos.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo (fig. 5) concuerdan con los de Villasana (1988), ya que a lo largo de las evaluaciones no existen diferencias significativas entre los tratamientos manejados, sin embargo, la primera y tercera evaluación muestra diferencias significativas entre el testigo y el 20% de H.A., existiendo en la segunda evaluación diferencias entre los tratamientos experimentales. Para la cuarta evaluación no se observan diferencias entre tratamientos y en la fase final se presenta una asociación entre los tratamientos testigo y 20% de H.A.

En la gráfica de la figura 5 se puede observar la tendencia de incrementar el número de estomas a medida que aumenta la deficiencia de humedad. Con respecto a esto, McCree y Davies (1974), examinando el efecto de la reducción del área foliar a causa de déficit hídrico sobre el número de estomas, comenta que si tal situación no afecta la diferenciación de los estomas, entonces al disminuir la superficie de la hoja, el número de estomas por unidad de área debería incrementarse al quedar en un área más reducida. Para este trabajo, lo que menciona McCree y Davies (1974) no pudo haber sucedido en gran escala, ya que sólo en las evaluaciones 1 y 3 (fig. 5) se separan el tratamiento testigo y el 20% de H.A., por lo tanto, la frecuencia estomática no es afectada significativamente por la sequía bajo el presente diseño.

Por otro lado, Miskin y Raimonson (1970) citados por Villasana (1988), al trabajar con cebada encontraron correlación entre baja frecuencia estomática y baja transpiración, atribuyéndola a una alta resistencia estomática. En éste caso el tratamiento testigo tuvo la más baja frecuencia estomática contra la más alta transpiración (fig. 6), lo que puede atribuirse a una baja resistencia estomática, que podría estar repercutiendo además en la mayor producción de biomasa. Mientras que el tratamiento con 20% de humedad aprovechable presentó la más alta frecuencia estomática contra la más baja transpiración (fig. 6) lo cual podría ser explicado por una alta resistencia estomática que pudiera repercutir en la menor producción de biomasa.

## ESTOMAS VS TIEMPO

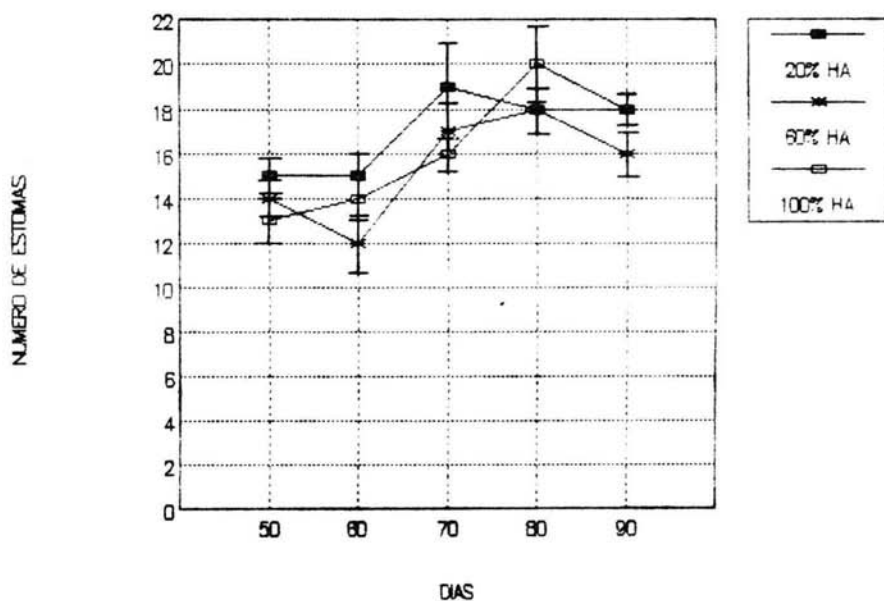


Fig. 5.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el número de estomas durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Nótese que en la primera y tercera evaluación existen diferencias significativas entre el tratamiento testigo y 20% de H. A., existiendo en la segunda evaluación diferencias entre los tratamientos experimentales. Para la cuarta evaluación no se observan diferencias entre tratamientos y en la fase final se observa una asociación entre los tratamientos testigo y 20% de H. A.

## 6.2.2 TRANSPIRACION (Tr.)

Para Kramer (1977) la transpiración es la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor, es el factor dominante en las relaciones hídricas de la planta porque la evaporación de agua produce el gradiente de energía que provoca el movimiento de agua dentro y a través de las plantas. La transpiración causa déficits hídricos momentáneos de A.F. y cuando se seca el suelo causando retraso en la absorción respecto a la pérdida de agua, se producen déficits hídricos permanentes que causan daños y muerte por desecación. La humedad del suelo es un factor determinante en la transpiración, para el caso de *A. hypochondriacus* L. sometido a dos niveles de sequía, se observó el siguiente comportamiento:

En la figura 8 se puede ver que el tratamiento testigo siempre tuvo la mayor transpiración, excepto en la evaluación número 4, durante la cual el tratamiento con 20% de H.A. que se mantuvo con la más baja transpiración alcanzó valores de 100g/cm cuadrado. En la gráfica se observa también una asociación de los tratamientos experimentales separándose del testigo durante las dos primeras evaluaciones, mostrando en la tercera diferencias entre el testigo y 20% de H.A., para la cuarta evaluación no se observan diferencias entre tratamientos. En la evaluación final se asocian los tratamientos testigo y 60% de humedad aprovechable.

Dado que la transpiración está en función de la humedad disponible y de la cantidad de agua que tenga una planta, los altos valores en el tratamiento testigo con respecto a los experimentales se atribuyen al alto contenido relativo de agua (fig. 7) y al alto potencial hídrico (fig. 8).

Por su parte, la baja transpiración en el tratamiento con 20% de H.A. se asocia a la deficiencia de humedad, al bajo contenido relativo de agua y a los bajos valores de potencial hídrico. (figs. 7 y 8). Estos factores entre otros trajeron como consecuencia una baja productividad de materia seca para este tratamiento (fig. 14).

El comportamiento irregular de la gráfica quizá se deba a que ésta es una evaluación puntual y no refleja los valores de transpiración que la planta tiene a lo largo del día, por ello se sugieren trabajos donde se realice un seguimiento de esta variable de respuesta en *A. hypochondriacus* L. a lo largo del día.

## TRANSPIRACION VS TIEMPO

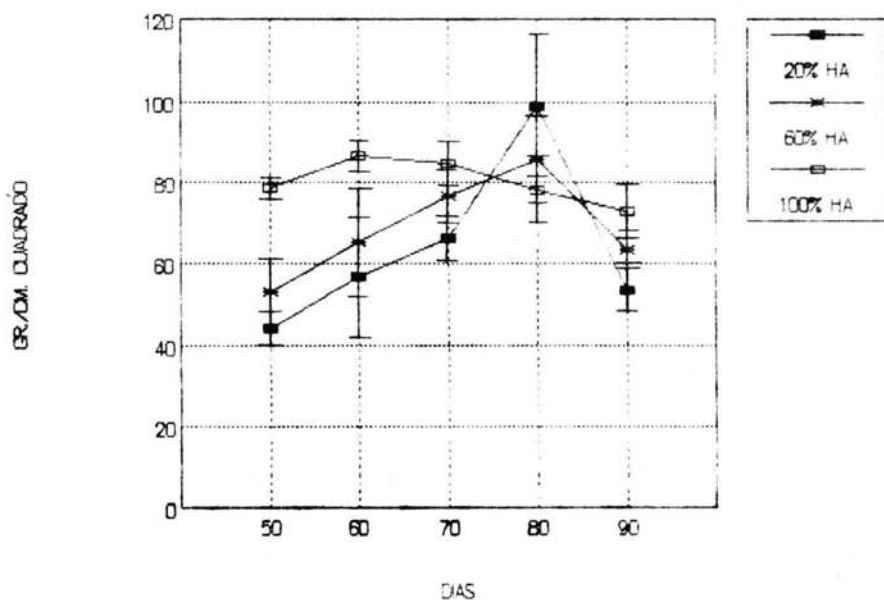


Fig. 6.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre la transpiración durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Obsévese que para ninguna de las evaluaciones realizadas existen diferencias significativas totales entre los tratamientos manejados, existiendo sin embargo una asociación entre los tratamientos experimentales.

### 6.2.3 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (C.R.A.)

Dado que el C.R.A. es la proporción de agua que contiene un órgano o una planta completa, con respecto a una capacidad máxima de toma de agua y la evaluación se realizó siempre en la hoja número 8 de la base hacia el ápice, tomando en cuenta además que el crecimiento total de la planta se hacia mayor conforme transcurría el tiempo y el volumen de agua aplicado no rebasaba el límite preestablecido, se esperaba una respuesta inversa con respecto al tiempo para los tratamientos manejados, esto en cierta forma ocurrió para el tratamiento testigo, el cual observó un coeficiente de determinación de 0.87, una pendiente de -0.18. (fig. 7)

En el 60% de humedad aprovechable se presentan un ciclos de incremento-decremento con respecto al tiempo, los cuales oscilan entre 83 y 92% de C.R.A.. Este comportamiento no indica necesariamente que la planta no tenga un adecuado control del agua ya que en dos ocasiones alcanza un valor de C.R.A. superior al 90% y no baja más allá del 83%, éstos picos de C.R.A. quizá se conserven dentro de los límites en los cuales no es afectada la planta ya que visiblemente ésta no presentaba diferencias con las del tratamiento control, excepto por la cantidad total del área foliar.

El tratamiento con 20% de H.A. también presenta ciclos de incremento-decremento con respecto al tiempo, oscilando éstos entre 77 y 93% de C.R.A. Los cambios bruscos de C.R.A. se deben probablemente a la fuerte sequía bajo la cual estuvieron sometidas estas plantas, controlando de alguna manera sus condiciones internas para poder captar el agua disponible y sobrevivir a la limitante de humedad.

En el comportamiento general de la gráfica (fig. 7) se observa el más alto contenido relativo de agua para el tratamiento testigo, mientras que el menor corresponde al 20% de H.A., este comportamiento es similar a los resultados de potencial hídrico y transpiración (fig. 6 y 8), reflejándose también en la producción total de biomasa (fig. 14).

La gráfica presenta diferencias significativas en la primera y tercera evaluación, quedando sin diferencias entre tratamientos la segunda y cuarta evaluación. Para la medición final se observa una asociación entre el tratamiento testigo y 60% de H.A. Tomando en cuenta los resultados de potencial hídrico, podría sugerirse que el 60% de H.A. no actúa como limitante de humedad para *A. hypochondriacus* L. tipo Chinampa.

## CONTENIDO RELATIVO DE AGUA VS TIEMPO

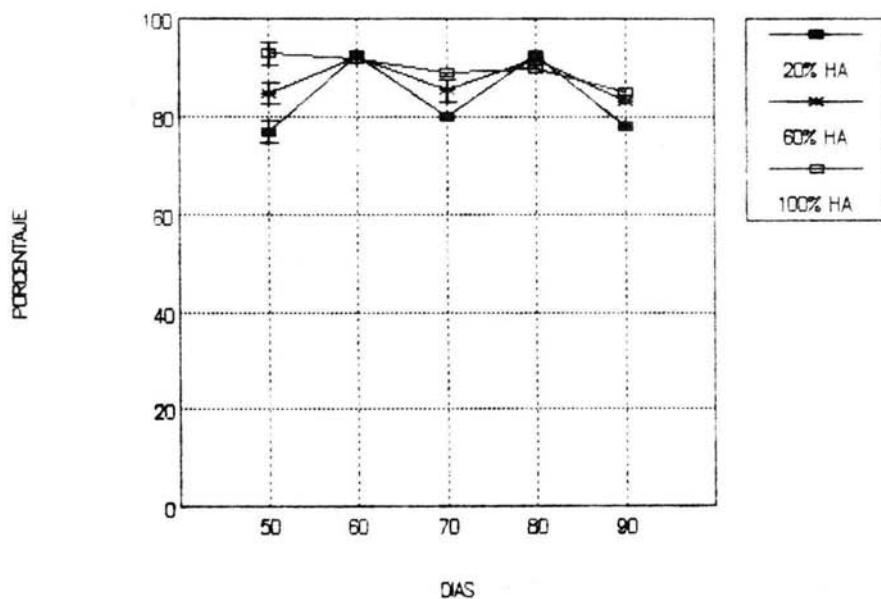


Fig. 7.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el Contenido Relativo de Agua durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. En la gráfica se observan diferencias significativas en la primera y tercera evaluación, asociándose los tres tratamientos en las evaluaciones 2 y 4. Para la evaluación final se presenta una asociación del tratamiento testigo con el 60% de H.A. separándose significativamente del 20% de H.A.



#### 6.2.4 POTENCIAL HIDRICO ( $\psi$ )

El  $\psi$  ha sido la medida mas usada para determinar el estado hídrico de una planta, siendo la turgencia esencial para el alargamiento celular y crecimiento. Cuando el agua empieza a faltar en el suelo las plantas aumentan el contenido de solutos en su interior (por síntesis o por transporte de iones al interior de otras células), con lo que se logra un  $\psi$  menor al del suelo absorbiendo agua. A esto se le llama ajuste osmótico (Flower y Ludlow, 1986; citados por Del Río, 1988). Es probable que el Amaranto presente este fenómeno para absorber agua del suelo y sobrevivir durante largos periodos de sequía. Según Turner (1985), las plantas que presentan este comportamiento tienen las siguientes ventajas: Conservación de la turgencia, alargamiento celular, conservación de la fotosíntesis y abertura de los estomas, sobrevivencia a la deshidratación y una mayor exploración del suelo por las raíces. Para el caso de *A. hypochondriacus* L. bajo el presente diseño se observó el siguiente comportamiento:

Los tratamientos presentaron una respuesta inversa con respecto al tiempo ya que a medida que éste avanza la planta incrementa su talla y la misma cantidad de agua se distribuye entre un mayor número de células (fig. 8)

Para el tratamiento con 20% de humedad aprovechable se observó un decremento a partir de la primera evaluación, suavizándose en la tercera, a partir de ese momento la gráfica tiende a estabilizarse lo cual está estrechamente relacionado con un incremento menor del peso seco total de la planta, como consecuencia del bajo contenido relativo de agua y la baja transpiración.

Los tratamientos testigo y 80% de humedad aprovechable se asocian con una tensión similar en su comportamiento a través del tiempo no mostrando diferencias significativas, excepto para la última evaluación, lo cual nos hace pensar que para esta variable de respuesta ( $\psi$ ), el tratamiento con 60% de H.A. no actúa como limitante de humedad en *A. hypochondriacus* L. tipo Chinampa, por lo tanto; para trabajos posteriores se sugiere manejar niveles de humedad por abajo del 60% de H.A.

El tratamiento con el 20% de H.A. presenta una relación lineal inversamente proporcional con respecto al tiempo con un coeficiente de determinación de 0.86. Para la evaluación final, este tratamiento observó valores semejantes a los tratamientos testigo y 80% de H.A., lo cual sugiere que la planta presenta un mecanismo que le permite captar con mayor facilidad el agua disponible para emplearla durante su fase reproductiva. Los tratamientos que se asocian en su comportamiento presentan valores mas o menos constantes de  $\psi$  a través del tiempo lo cual sugiere que la cantidad de agua aplicada a ambos es suficiente para que la planta se desarrolle adecuadamente en su etapa vegetativa, sugiriendo también alguna capacidad interna de la planta que permite extraer el agua del suelo para distribuirla en un mayor número de células. Villasana (1988) menciona que el mecanismo que permite al Amaranto mantener la turgencia celular es el ajuste osmótico.

## POTENCIAL HIDRICO VS TIEMPO

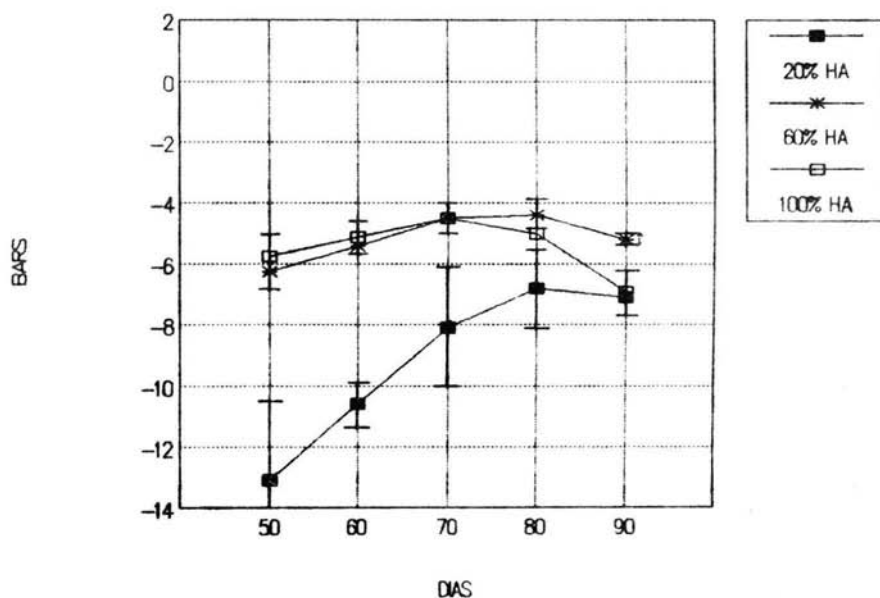


Fig. 8.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el potencial hídrico durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Nótese la estrecha asociación que existe entre el tratamiento testigo y el 60% de humedad aprovechable, lo cual sugiere que el tratamiento con 60% de H.A. no participa como limitante de humedad para ésta especie.

## 6.3 VARIABLES RELACIONADAS CON LA BIOMASA

### 6.3.1 DIAMETRO DEL TALLO (D. T.)

Dado que el tallo es el órgano que mantiene erecta a la planta y conduce los fotosintatos y el agua a la parte aérea, la observación de su comportamiento es de singular importancia para cubrir los objetivos del presente diseño. (fig. 9)

El comportamiento general del diámetro del tallo establece una relación lineal directamente proporcional con respecto al tiempo con un coeficiente de determinación de 0.72 para el tratamiento testigo, 0.66 para el 60% y 0.60 para 20% de H.A.. En todos los tratamientos se observa un incremento notable al principio, tendiendo a estabilizarse en las fases intermedias de evaluación para luego incrementarse en la fase final. La velocidad o ritmo de incremento en el diámetro del tallo se refleja en los valores de la pendiente para cada tratamiento: 0.008 para el testigo, 0.005 para el 60% de H.A. y 0.004 para el 20% de humedad aprovechable. Estos valores nos indican que el crecimiento en diámetro del tallo se reduce en un 25% para el tratamiento con 60% de H.A. y en un 42% para el 20% de H.A. en comparación con el testigo, lo cual se atribuye a los bajos contenidos relativos de agua, bajos potenciales hídricos y probablemente alta resistencia estomática, sobre todo en el tratamiento con 20% de H.A., lo cual se refleja también en la menor producción de peso seco total, ello sugiere que el diámetro del tallo tiene una participación directa en la productividad total de biomasa en *Amaranthus hypochondriacus* L., haciendo pensar que un diámetro mayor permite conducir con mayor eficiencia el agua y los productos derivados de la fotosíntesis a los distintos órganos de la planta para incrementar su biomasa. Tal situación se observó en el tratamiento testigo, el cual presentó el mayor diámetro del tallo, un alto contenido relativo de agua y un alto potencial hídrico que trajo como consecuencia una mayor producción de materia seca.

En la primera evaluación no existen diferencias significativas entre tratamientos. Diez días después al realizar la segunda evaluación se asocian los tratamientos experimentales (60 y 20% de H.A.) al no presentar diferencias significativas entre ellos, pero sí con el testigo. Para la tercera evaluación existe una asociación entre el testigo y el 60% de H.A. separándose como diferencia significativa solo el 20% de H.A.. En las dos evaluaciones restantes todos los tratamientos presentan diferencias significativas lo cual hace pensar que la sequía tiene su efecto sobre el diámetro del tallo en la fase previa a la etapa reproductiva.

## DIAMETRO DEL TALLO VS TIEMPO

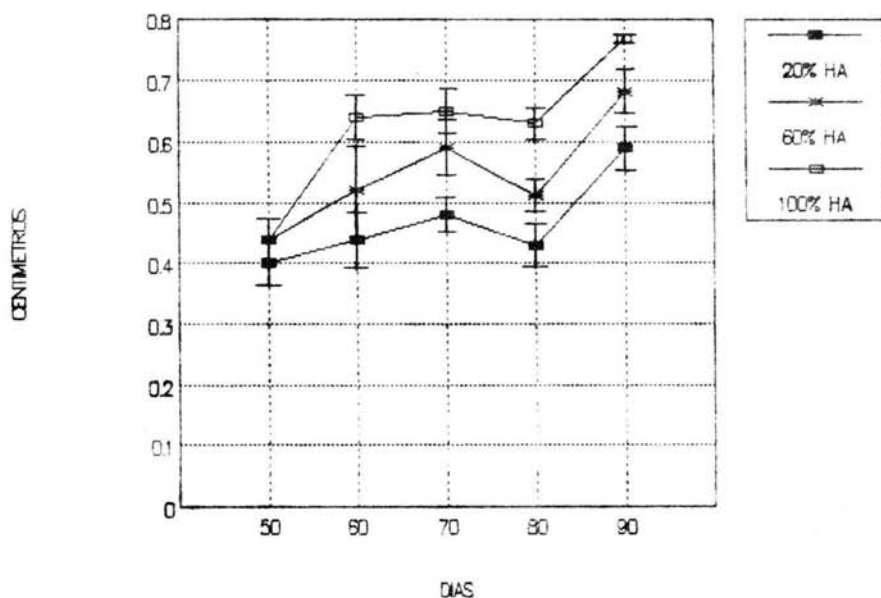


Fig. 9.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el diámetro del tallo durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Nótese el efecto marcado de la sequía durante la cuarta y quinta evaluación de ésta variable de respuesta.

### 6.3.2 VOLUMEN DE RAICES (Vr.)

El volumen de raíces está estrechamente relacionado con la razón vástago/raíz. Uno de los cambios morfológicos de la respuesta a la deficiencia de agua incluyen una relación mayor raíz/tallo, que puede deberse a una disminución en el crecimiento del tallo, al aumento del crecimiento de la raíz o a ambos, en el presente diseño se observó el siguiente comportamiento:

El volumen de raíces (fig.10) en condiciones adecuadas de humedad (100%) presentó un brusco aumento de los 50 a los 60 días posteriores a la siembra, observándose después aparente estabilización, lo que puede significar que no hubo efecto de maceta para este tratamiento ya que la humedad siempre se mantuvo a capacidad de campo.

Si consideramos que en el testigo no se presentó el efecto de maceta, se puede inferir que el poco desarrollo radical en los tratamientos experimentales fué influido por la deficiencia de humedad.

El comportamiento general del volumen de raíces es semejante en todos los tratamientos con un notable incremento al inicio y una marcada estabilización posterior. Excepto para la primera y segunda evaluación, se presentan diferencias significativas entre los tratamientos manejados a lo largo del tiempo. Existe una correlación lineal baja para los tratamientos, que se refleja por los bajos valores de los coeficientes de determinación: 0.023 para el 20% de H.A., 0.31 para el 60% de H.A. y 0.40 para el testigo. Estos valores indican que esta variable de respuesta no se adapta al modelo de regresión lineal, sin embargo, considerando sus limitantes permite observar una velocidad o ritmo de incremento en el volumen de raíces mayor para el tratamiento testigo, reduciéndose conforme se acentúa la deficiencia de humedad en los tratamientos. Esto hace pensar que la sequía afecta de manera significativa el volumen de raíces en *A. hypochondriacus* L. supuesto que se corrobora al observar las diferencias significativas a partir de la tercera evaluación (fig. 10). Las diferencias no significativas en la primera evaluación se explican por el corto periodo de deficiencia de humedad que tenían los tratamientos en ese instante, haciéndose muy marcada en días posteriores.

El menor volumen de raíces en los tratamientos experimentales tuvo su efecto sobre la producción total de materia seca, lo cual se refleja desde los pesos secos parciales del Amarantho, esto puede comprenderse mejor si observamos el comportamiento de las figuras 6, 7 y 8.

La disminución en el volumen de raíces de los tratamientos experimentales podría explicarse por la falta de turgencia en las células de la raíz, por la disminución del área foliar, ya que si existe alta resistencia estomática en poca área foliar se provoca un efecto en la fotosíntesis, de tal forma que al no haber disponibilidad suficiente de fotosintatos (fig. 4) se pudo afectar el volumen de raíces, y por la misma deficiencia de humedad que inhibe el crecimiento radical.

## VOLUMEN DE RAICES VS TIEMPO

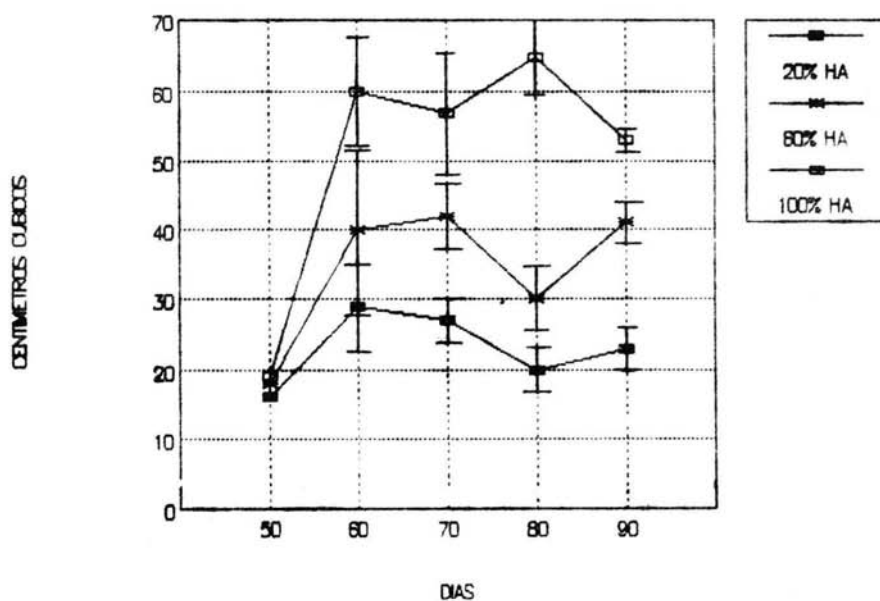


Fig. 10.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el volumen de raíces durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. La sequía inicia su efecto marcado, un mes después del control de humedad en los tratamientos manejados (día 70 después de la siembra).

Quizenberry, (1982) señala que el desarrollo radical y la cantidad de absorción de agua por la planta se hallan muy relacionados, debido a que un sistema radical bien desarrollado incrementa la eficiencia de absorción confiriendo una relativa resistencia a la sequía. En base a lo que menciona éste autor, sería interesante plantear si la eficiencia de absorción de agua por la raíz está relacionada con el volumen de raíces producido por la planta.

Gardner (1965) citado por Villasana (1988) sugiere que parámetros como la longitud de la raíz se relacionan mejor con la eficiencia de absorción de agua, desafortunadamente, en el presente trabajo no se tienen evaluaciones cuantitativas de éste parámetro, sin embargo, se observó en los tratamientos experimentales una raíz con mayor longitud y pocas ramificaciones, en contraste con el testigo que presentó mayor ramificación que longitud. La longitud de raíz puede ser un factor que se considere de importancia en futuros trabajos.

Pudiera ser también que el bajo volumen de raíces en los tratamientos experimentales se presente como una estrategia del Amarantho para resistir periodos prolongados de sequía, ya que según Blum (1970) dice que un sistema radical pequeño puede ser más deseable durante una sequía larga; ya que en una sequía severa pero corta, el sistema radical extenso provee de agua suficiente, pero en una sequía severa y prolongada, como en éste caso, el abundante sistema radical podría terminar pronto con la humedad aprovechable y sucumbir las plantas por la sequía.

## PESO SECO DE HOJAS VS TIEMPO

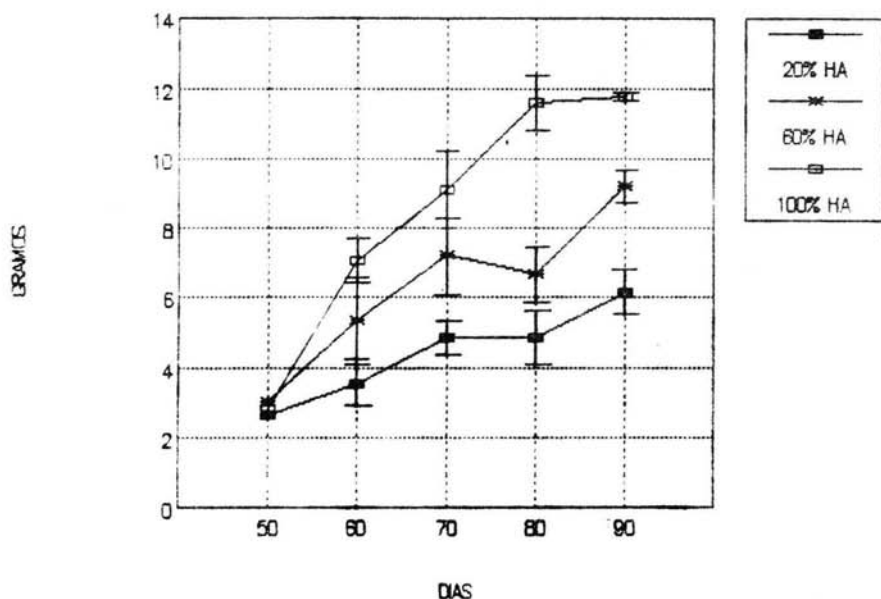


Fig. 11.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco de hojas durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Nótese que en la segunda evaluación existen diferencias significativas sólo entre el tratamiento testigo y el 20% de H.A., asociándose para la tercera evaluación el testigo con el 60% de H.A. para observar diferencias significativas co el 20%. La sequía tiene su efecto marcado en el periodo próximo a la floración.



### 6.3.3 DISTRIBUCION DE PESO SECO (P.S.H., P.S.Ta. Y P.S.R.)

La cantidad de hojas es una medida indirecta de la productividad total de la planta ya que de ellas depende la eficiencia fotosintética y finalmente la producción total de biomasa.

En la figura 11, correspondiente al peso seco de hojas, se observa la mayor producción en el tratamiento testigo, mientras la menor corresponde al 20% de H.A., esto por la eficiencia fotosintética que aporta el área foliar (fig.1), lo cual influye en el comportamiento del peso seco del tallo (fig. 12) y quizá también en el peso seco de raíces (fig. 13) ya que ambos muestran una respuesta similar.

En el peso seco de hojas (fig. 11) y peso seco del tallo (fig. 12) se observa una relación lineal con un coeficiente de determinación mínimo de 0.89 para el P.S.H. y 0.83 para el peso seco del tallo (P.S.Ta.) los cuales corresponden al tratamiento con 80% de H.A. para ambos casos. Los valores máximos del coeficiente de determinación se observaron en el tratamiento con 20% de humedad aprovechable (0.95 para P.S.H. y 0.98 para P.S.Ta.)

Al comparar la velocidad o ritmo de incremento en materia seca a través del tiempo con los datos proporcionados por la pendiente (ver anexos), se tiene que para el P.S.H. el tratamiento con 80% de H.A. tuvo una velocidad de producción del 81.1% de materia seca, mientras que en el tratamiento con 20% de H.A. el ritmo de incremento en biomasa descendió a 37.05% en comparación con la velocidad observada en el testigo. El P.S.Ta. por su parte observó para el tratamiento con 80% de H.A. un 36.56% mientras que el 20% de H.A. mostró un 24.37% del ritmo de incremento observado en el testigo.

Por otro lado, al comparar la biomasa total acumulada, en el peso seco de hojas se observó que el tratamiento con 80% de H.A. produjo el 74.48% de materia seca, mientras que el tratamiento con 20% de H.A. produjo el 51.86% de la cantidad de biomasa producida por el testigo durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L.

Por su parte, en el P.S.Ta. se observó una producción de 83.49% de materia seca en el tratamiento con 80% de H.A. y 40.82% en el tratamiento con 20% de H.A. con respecto al testigo.

Al observar los porcentajes acumulativos, se corroboró la estrecha relación que existe entre el área foliar (fig. 1) y el P.S.H. (fig. 11), ya que los porcentajes de producción total tienen valores muy similares, esto demuestra que el área foliar influye en la eficiencia fotosintética y como consecuencia en la producción de biomasa.

## PESO SECO DEL TALLO VS TIEMPO

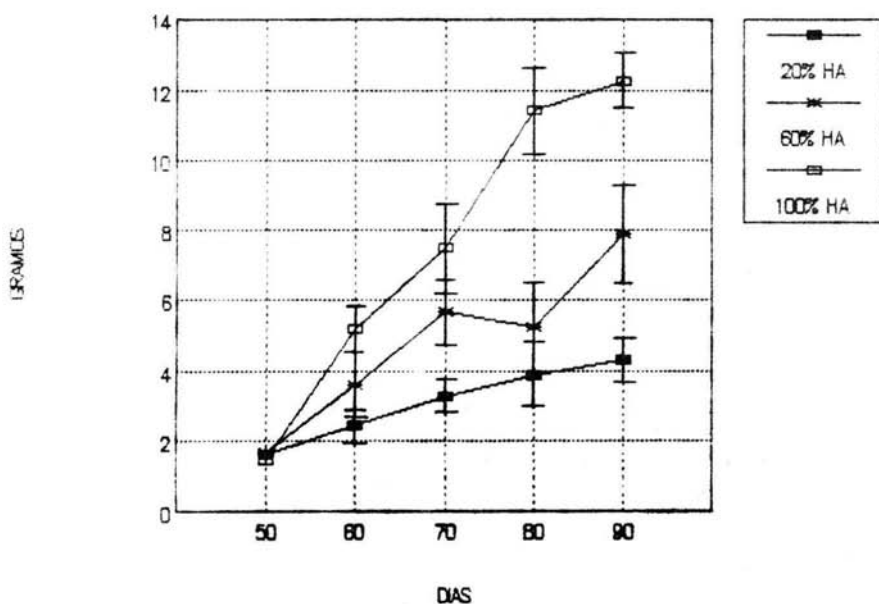


Fig. 12.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco del tallo durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. En la segunda evaluación sólo se observan diferencias significativas entre el tratamiento testigo y el 20% de H.A., asociándose para la tercera, el testigo y el 60% de H.A. y para la cuarta los tratamientos experimentales. La sequía tiene su efecto en la fase final de evaluación.

El P.S.Ta. está también estrechamente relacionado con el diámetro del tallo, ya que en ambos parámetros el tratamiento testigo alcanza los mayores valores, correspondiendo los menores al tratamiento con 20% de H.A. Esto quizá esté influido también por el peso seco de raíces (fig. 13), ya que el tratamiento con 20% de humedad aprovechable, siempre presentó los menores valores, mientras que los valores más altos correspondieron al tratamiento testigo. Cabe mencionar que el comportamiento de la gráfica de P.S.R. tuvo un comportamiento irregular durante las evaluaciones realizadas, el cual es comparable con el volumen de raíces. La disminución en el peso seco de raíces por los tratamientos experimentales puede ser explicado por las razones ya discutidas en el volumen de raíces.

## PESO SECO DE RAICES VS TIEMPO

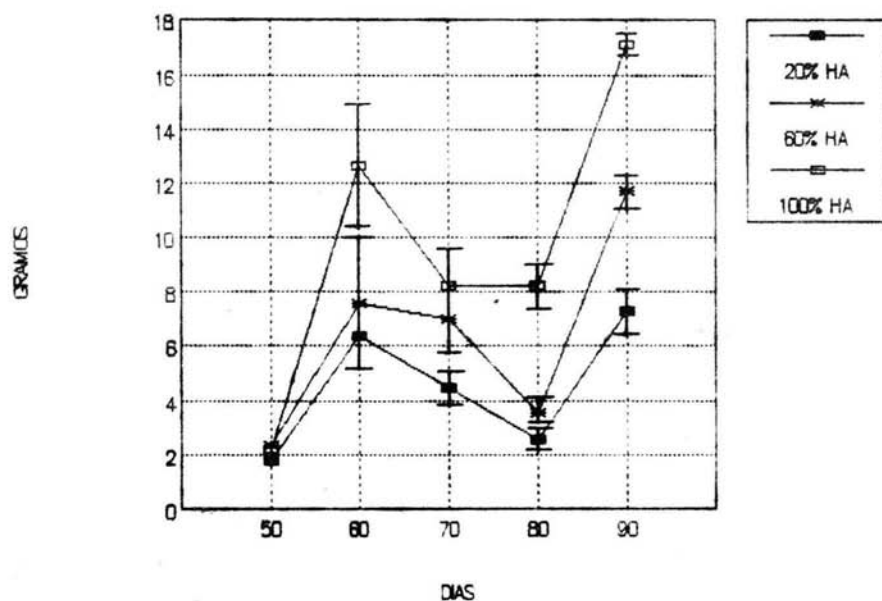


Fig. 18.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco de raíces durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Obsérvese la asociación de los tratamientos experimentales en la segunda evaluación y el testigo con el 60% de H.A. para la tercera. La sequía tiene su efecto marcado en el periodo próximo a la floración.

#### 6.3.4 PESO SECO TOTAL (P. S. T.)

El peso seco es una medida directa de la capacidad productiva de una planta, está estrechamente relacionado con la actividad fotosintética y el área foliar total. Begg y Turner (1976) concluyen que la fotosíntesis disminuye como resultado del cierre de los estomas, pero la tensión hídrica prolongada e intensa pueden conducir a la declinación de la actividad de cloroplastos y enzimas y a efectos no estomáticos sobre la fotosíntesis, afectando de esta manera el peso total de la planta.

En la figura 14, se observa que la deficiencia de humedad afectó al Amaranto provocando una disminución de la materia seca en los tratamientos experimentales. Los tratamientos con 80% y 20% de humedad aprovechable, produjeron el 88.20% y 46.59% respectivamente, de la cantidad de materia seca producida por el tratamiento testigo durante las evaluaciones realizadas, con lo cual se tienen diferencias significativas claras entre tratamientos a partir de la tercera evaluación y desde la segunda entre el tratamiento testigo y 20% de H.A. La baja correlación lineal (ver anexos) que existe en el comportamiento de ésta gráfica se atribuye a la respuesta del P.S.R.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Villasana (1988), quien al evaluar la biomasa del Amaranto en condiciones de sequía observó una disminución de ésta en sus tratamientos experimentales y diferencias significativas entre los tratamientos experimentales y testigo.

Hsiao (1973) citado por el mismo autor, señala que existe una relación lineal entre el área foliar y la materia seca, comportamiento evidente en este caso (fig. 1 y 14) ya que al reducirse el número de hojas se afectó la velocidad de fotosíntesis y como consecuencia se redujo la producción de materia seca.

## PESO SECO TOTAL VS TIEMPO

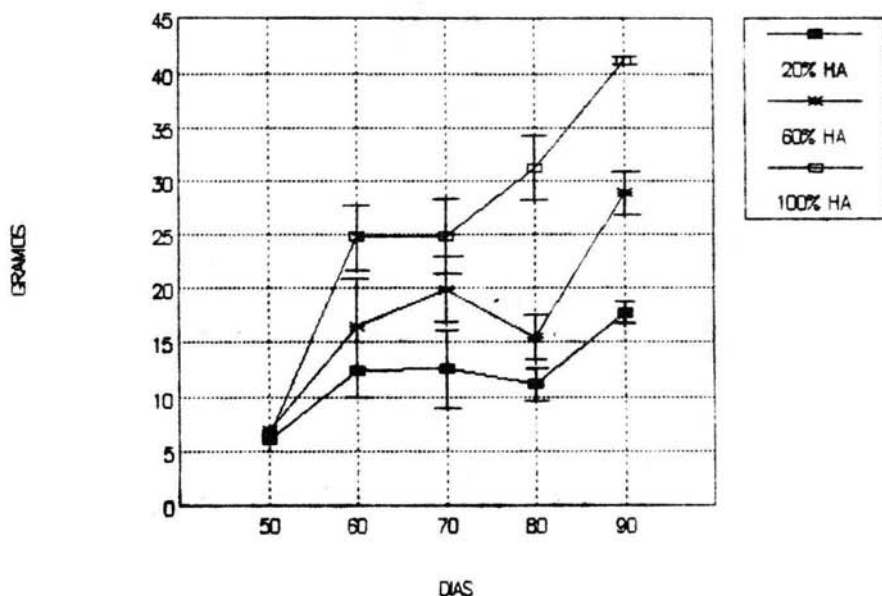


Fig. 14.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el peso seco total durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. En la segunda evaluación el tratamiento testigo, presenta diferencias significativas con los tratamientos experimentales, pero no éstos entre sí. para la evaluación número tres se observa una asociación entre el tratamiento testigo y el 60% de H.A. La sequía se acentúa algunos días previos a la fase reproductiva.

### 6.3.5 RAZON VASTAGO/RAIZ (V/R)

Uno de los cambios morfológicos que se observa en la planta como respuesta a la deficiencia de agua es una relación menor vástago/raíz, esto puede deberse a una disminución de la parte aérea, al aumento del crecimiento de la raíz o a ambos. Cuando existe un mayor crecimiento de la raíz, ésta tiene la capacidad de explorar un mayor volumen de suelo trayendo como consecuencia una sobrevivencia más larga de la planta. Para *A. hypochondriacus* L. bajo el diseño manejado se observó el siguiente comportamiento:

En el tratamiento testigo se observa al inicio una disminución de la razón V/R, esto significa que las raíces tuvieron un mayor crecimiento en relación a la parte aérea. De los 60 a los 80 días se observó un incremento marcado de la parte aérea que se evidencia a través del incremento de la razón V/R en ese tiempo. En la fase final de evaluación (80 a 90 días) se presenta nuevamente la disminución de la razón V/R debido al mayor desarrollo de la parte subterránea de la planta, esto quizá como una estrategia para captar un mayor volumen de agua para su fase reproductiva mediante la exploración de un mayor volumen de suelo.

Los tratamientos con 60 y 20% de H.A. presentan un comportamiento similar, es decir una disminución de la razón V/R al inicio de las evaluaciones seguido de un incremento que alcanza su máximo a los 80 días después de la siembra. En la fase final este índice disminuye hasta alcanzar un valor de 1.4 que coincide para todos los tratamientos. El valor del índice V/R siempre fue ligeramente mayor con 20% de H.A. (fig. 15) lo cual significa que para este tratamiento existió un ligero dominio de la parte aérea, sin manifestarse con diferencias significativas.

La respuesta de la razón V/R en *A. hypochondriacus* L. bajo deficiencia de humedad fue similar para los tres tratamientos, no existiendo diferencias significativas, teniendo al inicio una disminución que indica un desarrollo mayor de raíces con respecto a la parte aérea, en las siguientes fases de evaluación se observa un incremento de este índice como resultado de un mayor desarrollo de la parte aérea de la planta. En la fase final de evaluación nuevamente se presenta una disminución de la razón V/R que se asocia a un mayor desarrollo de la parte radical de la planta. Cabe mencionar que el tratamiento que presentó un valor mayor de la razón V/R fue el sometido a deficiencia de humedad severa (20% de H.A.), seguido por el tratamiento con 60% de H.A. y en último lugar el testigo. Todos ellos presentan un valor superior a 1, alcanzando su máximo en la evaluación número cuatro, esto es 80 días después de la siembra. En la fase final de evaluación todos los tratamientos presentan una disminución de la razón V/R como consecuencia de un nuevo incremento de la parte radical de la planta, quizá para una exploración mayor del suelo como respuesta a la proximidad de su fase reproductiva.

La explicación del decremento-incremento de los valores del índice V/R sin que hallan diferencias significativas entre tratamientos en las diferentes fases fenológicas del Amarantho puede atribuirse a que inicialmente la planta desarrolla un sistema radical eficiente que le permita captar el agua,

## RAZON VASTAGO/RAIZ VS TIEMPO

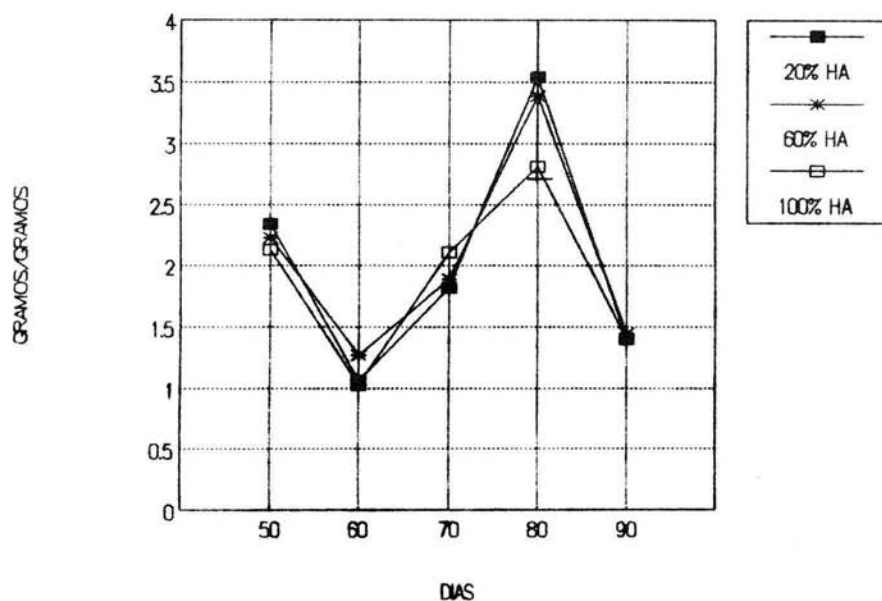


Fig. 15.

Efecto de la deficiencia de humedad sobre el índice vástago/raíz durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso. Nótese que no existen diferencias significativas entre tratamientos para las evaluaciones realizadas, lo cual significa que la especie en estudio, cuando se encuentra en situaciones adversas de humedad incrementa o limita su desarrollo en la misma proporción tanto en su parte aérea como subterránea.



posteriormente tiene su mayor crecimiento de la parte aérea alcanzando su máximo a los 80 días después de la siembra. Si se toma en cuenta que en ésta etapa la planta ha dejado de crecer y se aproxima la formación de órganos florales para la fase reproductiva, se entenderá la disminución de la razón V/R como una estrategia que asegura su reproducción a través de un mayor desarrollo radical para una mayor exploración y aprovechamiento de la humedad disponible.

sin embargo, es importante mencionar que la relación vástago/raíz no determina la habilidad de la planta para absorber el agua del suelo.

Los resultados obtenidos en éste trabajo coinciden con los de Villasana (1988) quien tampoco observó diferencias significativas entre sus tratamientos experimentales y testigo al trabajar con Amarantho en condiciones de sequía.

#### 6.4 ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Con el propósito de detectar las variables que se asocian en comportamiento como respuesta a la deficiencia de humedad y aquellas que pudieran ser consideradas como indicadores de sequía durante la etapa vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso y tres niveles de humedad aprovechable (H.A.), se procedió a un análisis de componentes principales como a continuación se muestra.

TRATAMIENTO CON 100% DE HUMEDAD APROVECHABLE.

MATRIZ A SER FACTORIZADA

	T	A. F.	Vr.	D. T.	C. R. A.
T	1.000				
A. F.	0.805	1.000			
Vr.	0.512	0.876	1.000		
D. T.	0.745	0.901*	0.777	1.000	
C. R. A.	-0.633	-0.371	-0.167	-0.349	1.000
Tr.	-0.224	-0.239	-0.027	-0.096	0.049
P. S. T.	0.863	0.941*	0.797	0.918*	-0.501
Est.	0.720	0.573	0.354	0.391	-0.383
ψ	0.244	0.095	-0.033	0.327	-0.021
V/R	0.062	-0.119	-0.122	-0.315	0.047
A. F. E.	0.024	0.362	0.419	0.324	0.050
R. A. F.	-0.575	-0.517	-0.469	-0.591	0.500
P. S. H.	0.879*	0.962**	0.821	0.856	-0.417
P. S. Ta.	0.909*	0.908*	0.739	0.815	-0.470
P. S. R.	0.650	0.773	0.673	0.862	-0.483

	Tr.	P. S. T.	Est.	ψ	V/R
Tr.	1.000				
P. S. T.	-0.242	1.000			
Est.	-0.278	0.534	1.000		
ψ	-0.095	0.271	0.058	1.000	
V/R	-0.065	-0.228	0.398	-0.225	1.000
A. F. E.	0.159	0.236	-0.202	-0.155	-0.582
R. A. F.	0.119	-0.740	-0.322	-0.319	0.385
P. S. H.	-0.295	0.942*	0.681	0.144	0.055
P. S. Ta.	-0.339	0.943*	0.689	0.206	0.074
P. S. R.	-0.084	0.890*	0.215	0.352	-0.603

	A. F. E.	R. A. F.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.
A. F. E.	1.000				
R. A. F.	0.110	1.000			
P. S. H.	0.132	-0.577	1.000		
P. S. Ta.	0.014	-0.654	0.979**	1.000	
P. S. R.	0.432	-0.770	0.694	0.692	1.000

CARGA DE COMPONENTES

	1	2	3
P. S. T.	0.993*	0.054	-0.021
P. S. H.	0.957*	-0.190	0.176
P. S. Ta.	0.952*	-0.257	0.037
A. F.	0.950*	0.027	0.277
D. T.	0.914*	0.215	0.027
T	0.886	-0.262	-0.072
P. S. R.	0.862	0.446*	-0.191
Vr.	0.793	0.183	0.431*
R. A. F.	-0.722	-0.097	0.473*
Est.	0.600	-0.627*	0.100
C. R. A.	-0.528	0.166	0.272
V/R	-0.184	-0.877*	0.289
A. F. E.	0.218	0.745*	0.482*
$\psi$	0.253	0.097	-0.708*
Tr.	-0.242	0.343	0.125

VARIANZA EXPLICADA POR COMPONENTES

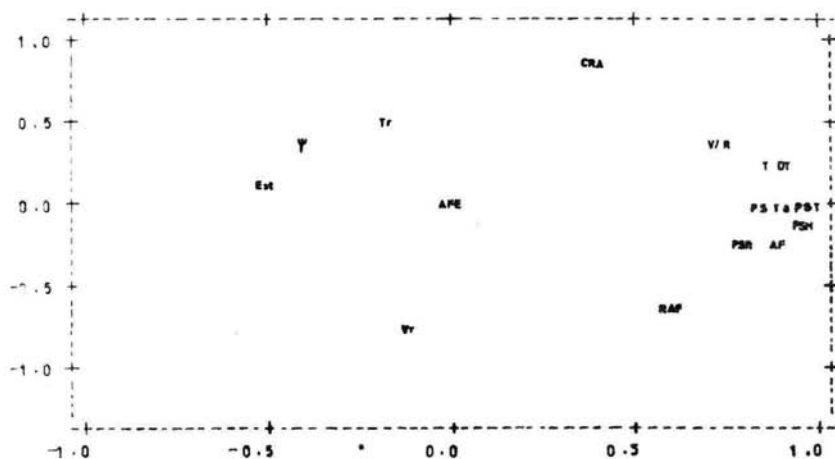
	1	2	3
	8.071	2.344	1.479

PORCENTAJE DEL TOTAL DE VARIANZA EXPLICADA

	1	2	3
	53.804	15.628	9.863

## GRAFICA DE COMPONENTES PRINCIPALES

FACTOR 2



FACTOR 1

Fig. 18

Comportamiento de las variables de respuesta a través del tiempo durante la etapa vegetativa de A. hypochondriacus L. cultivado en suelo arenoso y 100% de humedad aprovechable.

TRATAMIENTO CON 60% DE HUMEDAD APROVECHABLE

MATRIZ A SER FACTORIZADA

	T	A. F.	Vr.	D. T.	C. R. A.
T	1.000				
A. F.	0.708	1.000			
Vr.	0.337	0.817	1.000		
D. T.	0.544	0.874	0.755	1.000	
C. R. A.	-0.101	0.133	0.270	-0.036	1.000
Tr.	0.276	0.243	0.317	0.140	0.347
P. S. T.	0.675	0.945*	0.844	0.913*	0.025
Est.	0.439	0.234	-0.046	0.235	-0.103
$\psi$	-0.380	-0.439	-0.263	-0.261	-0.073
V/R	0.092	-0.108	-0.353	-0.223	0.163
A. F. E.	0.364	0.486	0.386	0.206	0.392
R. A. F.	-0.002	-0.054	-0.275	-0.269	0.289
P. S. H.	0.721	0.972**	0.807	0.904*	0.061
P. S. Ta.	0.477	0.651	0.486	0.425	0.363
P. S. R.	0.506	0.813	0.831	0.833	0.024
	Tr.	P. S. T.	Est.	$\psi$	V/R
Tr.	1.000				
P. S. T.	0.183	1.000			
Est.	0.189	0.164	1.000		
$\psi$	-0.379	-0.240	-0.349	1.000	
V/R	0.165	-0.327	0.544	-0.387	1.000
A. F. E.	0.208	0.352	-0.242	-0.510	-0.199
R. A. F.	0.186	-0.344	0.132	-0.586	0.720
P. S. H.	0.237	0.966*	0.335	-0.374	-0.091
P. S. Ta.	0.422	0.475	0.358	-0.496	0.334
P. S. R.	0.128	0.937**	-0.098	-0.068	-0.590
	A. F. E.	R. A. F.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.
A. F. E.	1.000				
R. A. F.	0.360	1.000			
P. S. H.	0.316	-0.152	1.000		
P. S. Ta.	0.334	0.321	0.610	1.000	
P. S. R.	0.372	-0.514	0.802	0.290	1.000

## CARGA DE COMPONENTES

	1	2	3
P. S. T.	0.964*	-0.227	0.087
P. S. H.	0.967*	0.003	0.179
P. S. Ta.	0.637	0.531*	-0.039
A. F.	0.980*	0.050	0.022
D. T.	0.887*	-0.182	0.197
T	0.715	0.204	0.314
P. S. R.	0.863*	-0.469	-0.091
Vr.	0.860*	-0.192	-0.241
R. A. F.	-0.145	0.874*	-0.231
Est.	0.229	0.488	0.714*
C. R. A.	0.147	0.337	-0.651*
V/R	-0.189	0.856*	0.315
A. F. E.	0.477	0.228	-0.658*
$\psi$	-0.429	-0.678*	0.057
Tr.	0.338	0.419	-0.206

## VARIANZA EXPLICADA POR COMPONENTES

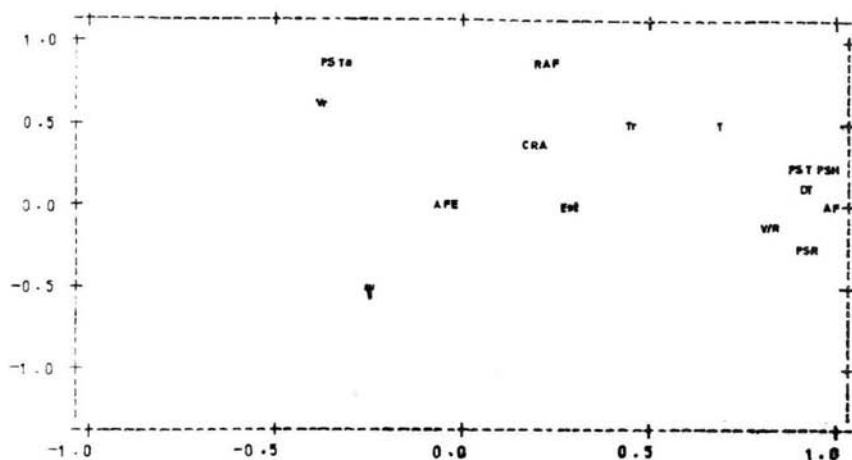
1	2	3
6.669	3.202	1.810

## PORCENTAJE DEL TOTAL DE VARIANZA EXPLICADA

1	2	3
44.459	21.349	12.065

## GRAFICA DE COMPONENTES PRINCIPALES

FACTOR 2



FACTOR 1

Fig. 17

Comportamiento de las variables de respuesta a través del tiempo durante la etapa vegetativa de A. hypochondriacus L. cultivado en suelo arenoso y 60% de humedad aprovechable.

TRATAMIENTO CON 20% DE HUMEDAD APROVECHABLE

MATRIZ A SER FACTORIZADA

	T	A. F.	Vr.	D. T.	C. R. A.
T	1.000				
A. F.	0.732	1.000			
Vr.	0.079	0.391	1.000		
D. T.	0.540	0.836	0.590	1.000	
C. R. A.	0.050	-0.035	0.404	-0.017	1.000
Tr.	0.175	-0.065	0.098	-0.193	1.000
P. S. T.	0.592	0.851	0.737	0.886*	0.171
Est.	0.424	0.115	0.027	0.131	0.116
$\psi$	-0.553	-0.647	-0.247	-0.529	-0.267
V/R	0.081	0.140	-0.365	-0.188	0.110
A. F. E.	0.285	0.360	-0.089	0.197	0.046
R. A. F.	0.165	0.152	-0.501	-0.119	-0.316
P. S. H.	0.699	0.961**	0.562	0.863	0.087
P. S. Ta.	0.618	0.810*	0.505	0.749	0.127
P. S. R.	0.358	0.540	0.783	0.756	0.198
	Tr.	P. S. T.	Est.	$\psi$	V/R
Tr	1.000				
P. S. T.	-0.032	1.000			
Est.	0.195	0.055	1.000		
$\psi$	-0.020	-0.502	-0.259	1.000	
V/R	0.270	-0.182	0.055	-0.220	1.000
A. F. E.	-0.291	0.174	-0.019	-0.287	-0.026
R. A. F.	0.002	-0.279	0.245	-0.099	0.551
P. S. H.	0.028	0.919**	0.143	-0.628	0.100
P. S. Ta.	0.067	0.864	0.012	-0.591	0.294
P. S. R.	-0.117	0.874	0.015	-0.247	-0.573
	A. F. E.	R. A. F.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.
A. F. E.	1.000				
R. A. F.	0.409	1.000			
P. S. H.	0.170	-0.013	1.000		
P. S. Ta.	0.153	-0.017	0.943*	1.000	
P. S. R.	0.146	-0.513	0.627	0.521	1.000



## CARGA DE COMPONENTES

	1	2	3
P. S. T.	0.972*	-0.183	-0.027
P. S. H.	0.962*	0.148	0.014
P. S. Ta.	0.894*	0.201	0.081
A. F.	0.920*	0.304	-0.148
D. T.	0.906*	-0.074	-0.213
T	0.696	0.410	0.067
P. S. R.	0.777	-0.549	-0.110
Vr.	0.658	-0.574*	0.229
R. A. F.	-0.142	0.862*	-0.199
Est.	0.165	0.311	0.305
C. R. A.	0.185	-0.185	0.712*
V/R	-0.074	0.759*	0.351
A. F. E.	0.252	0.349	-0.448
$\psi$	-0.656	-0.359	-0.142
Tr	-0.009	0.116	0.831*

## VARIANZA EXPLICADA POR COMPONENTES

1	2	3
8.439	2.705	1.820

## PORCENTAJE DEL TOTAL DE VARIANZA EXPLICADA

1	2	3
42.930	18.031	12.132

## GRAFICA DE COMPONENTES PRINCIPALES

FACTOR 2

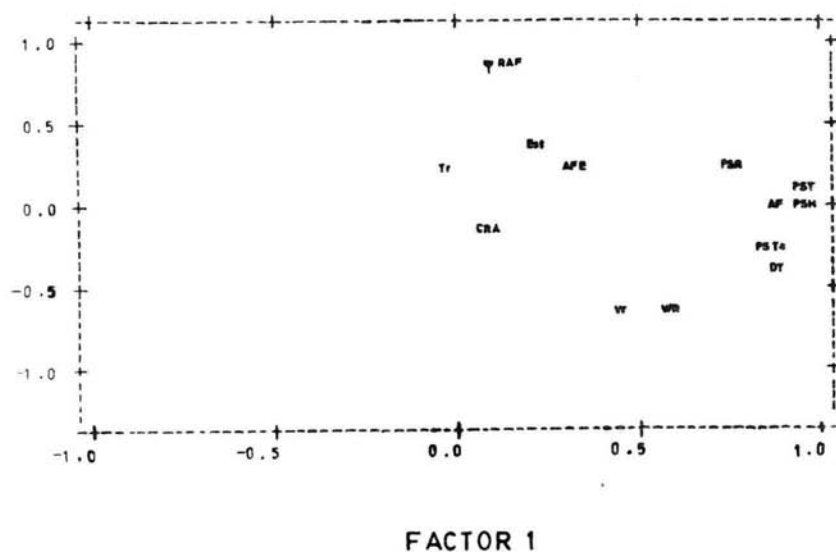


Fig. 16

Comportamiento de las variables de respuesta a través del tiempo durante la etapa vegetativa de A. hypochondriacus L. cultivado en suelo arenoso y 20% de humedad aprovechable.

#### 6.4.1 INTERPRETACION DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de correlación lineal simple (parte del análisis de componentes principales) presentó las siguientes variables con correlación significativa a 3 G.L. y  $\alpha = 0.05$ .

100% DE H. A.

- 1). P.S.T. vs A.F.
- 2). P.S.T. vs D.T.
- 3). P.S.T. vs P.S.H.
- 4). P.S.T. vs P.S.Ta.
- 5). P.S.T. vs P.S.R.
- 6). P.S.H. vs P.S.Ta. \*\*
- 7). T. vs P.S.Ta.
- 8). P.S.H. vs T.
- 9). A.F. vs D.T.
- 10). A.F. vs P.S.H. \*\*
- 11). A.F. vs P.S.Ta.

60% DE H. A.

- P.S.T. vs A.F.
- P.S.T. vs D.T.
- P.S.T. vs P.S.H.
- P.S.T. vs P.S.R.
- P.S.H. vs D.T.
- P.S.H. vs A.F. \*\*

20% DE H. A.

- P.S.T. vs D.T.
- P.S.T. vs P.S.H.
- P.S.Ta. vs P.S.H.
- P.S.Ta. vs A.F.
- P.S.H. vs A.F. \*\*

Cuadro 9.

Variables de respuesta asociadas de manera significativa en los diferentes tratamientos manejados durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. Los pares de variables marcadas con \*\* son significativas a un  $\alpha=0.01$

En el cuadro 9 podemos observar que en los tres tratamientos, las variables asociadas de manera significativa son: diámetro del tallo, área foliar y los pesos secos de hojas, raíces, tallos y como consecuencia el peso seco total en sus diferentes combinaciones.

Por otro lado, los pares de variables que están asociadas significativamente ( $\alpha=0.01$ ) son en los tres tratamientos el peso seco de hojas contra el área foliar (P.S.H. vs A.F.), esto se explica de manera biológica ya que el peso seco foliar está en función del área foliar total para cada tratamiento. En el tratamiento testigo se observa también una correlación del 99% de confianza entre el peso seco de hojas y el peso seco del tallo (P.S.H. vs P.S.Ta.), esto nos sugiere que para este tratamiento el área foliar tuvo una participación muy significativa para el crecimiento y desarrollo del tallo.

Para cada tratamiento de humedad aprovechable, se obtuvieron tres grupos de variables (componentes principales).

En el tratamiento testigo, el primer grupo (componente) está formado por las variables: P.S.T., P.S.H., P.S.Ta., A.F., y D.T.; a éste grupo le llamamos: COMPONENTE DE BIOMASA y explican en un 53.804% el comportamiento de las observaciones en el tratamiento testigo.

El segundo componente del tratamiento testigo está formado por C.R.A., Est., P.S.R. y V/R. por lo que se les dió el nombre de VARIABLES HIDRICAS por encontrarse entre ellas el C.R.A. Este grupo explica en un 15.628% el comportamiento de las variables observadas.

En el componente 3 se observan Vr.,  $\psi$ , A.F.E. y R.A.F., por la presencia de los dos últimos se le dió el nombre de VARIABLES DE INDICE. Este grupo explica en un 9.863 % el comportamiento de las variables observadas.

Lo anterior sugiere que las variables de mayor peso en este tratamiento son las de BIOMASA, ya que estas explican en un 53.8% el comportamiento total de las variables manejadas en este tratamiento.

#### TRATAMIENTO CON 60% DE H. A.

Tomando como referencia el tratamiento testigo, en éste se suman al primer componente (VARIABLES DE BIOMASA), Vr. y P.S.R., desapareciendo de este grupo el P.S.Ta. para aparecer asociado con las VARIABLES HIDRICAS. Para este tratamiento el primer componente explica en un 44.459% el comportamiento de las observaciones en el tratamiento con 60% de H.A.

El componente número 2 de este tratamiento es totalmente diferente con respecto al testigo ya que en éste aparecen P.S.Ta., R.A.F., V/R y  $\psi$ ; por la presencia de éste último se les dió el nombre de VARIABLES HIDRICAS MODIFICADAS POR LA SEQUIA, estas explican en un 21.349% el comportamiento de las observaciones para este tratamiento.

El componente 3 está formado por A.F.E. al igual que en el tratamiento testigo, agregándose a éste el C.R.A. y Est., llamándose también VARIABLES DE INDICE. Estas variables explican en un 12.085% el comportamiento de las observaciones para el tratamiento con 60% de H.A. Al igual que en el testigo, el grupo que más influencia tiene para explicar el comportamiento total es el formado por las VARIABLES DE BIOMASA.

#### TRATAMIENTO CON 20% DE H. A.

En este tratamiento, el primer componente está representado por las mismas VARIABLES DE BIOMASA que el tratamiento con 100% de H.A., con la diferencia de que éstas explican el comportamiento de las observaciones sólo en un 42.93%.

El componente 2 formado por las VARIABLES HIDRICAS MODIFICADAS POR LA SEQUIA sólo presenta la razón V/R como idéntica al tratamiento testigo, a ella se asocian la R.A.F. y el Vr. que en conjunto explican en un 18.03% el comportamiento de las observaciones para este tratamiento.

En el componente 3, las VARIABLES DE INDICE son sustituidas por la transpiración (Tr.) que aparece por única vez en el tercer componente de los tratamientos evaluados, junto con el C.R.A. explica en un 12.132% el comportamiento de las observaciones en el tratamiento con 20% de H.A.

#### GRAFICAS DE COMPONENTES PRINCIPALES

En las gráficas de componentes principales (figs. 16, 17 y 18) se observa la siguiente asociación de variables.

100% DE H. A.	60% DE H. A.	20% DE H. A.
1). T.	P. S. T.	P. S. T.
2). P. S. Ta.	P. S. H.	A. F.
3). P. S. T.	D. T.	P. S. H.
4). P. S. H.	A. F.	P. S. Ta.
5). P. S. R.	V. R.	D. T.
6). A. F.	P. S. R.	
7). D. T.		

Cuadro 10.

Asociación de variables evaluadas durante la etapa Vegetativa de *A. hypochondriacus* L. cultivado en suelo arenoso y tres niveles de humedad aprovechable.

De la asociación anterior (cuadro 10), las siguientes variables de respuesta aparecen en los tres tratamientos:

100% DE H. A.	60% DE H. A.	20% DE H. A.
1). D. T.	D. T.	D. T.
2). P. S. T.	P. S. T.	P. S. T.
3). P. S. H.	P. S. H.	P. S. H.
4). A. F.	A. F.	A. F.
5). P. S. R.	P. S. R.	
6). P. S. Ta.		P. S. Ta.

Cuadro 11.

Variables de respuesta que explican en mayor proporción el comportamiento de los diferentes tratamientos evaluados para *A. hypochondriacus* L. sometido a sequía. Nótese que sólo el P. S. R. y el P. S. Ta. no aparecen en los tres tratamientos.

Las gráficas de componentes principales apoyan los resultados obtenidos por los componentes de carga, ya que al comparar éstos en los diferentes tratamientos, se observa lo siguiente:

TRATAMIENTO CON 100% DE H. A.

Comp. Carga	Gráf. Comp. Princ.
P. S. T.	P. S. T.
P. S. H.	P. S. H.
P. S. Ta.	P. S. Ta.
A. F.	A. F.
D. T.	D. T.
	P. S. R.

TRATAMIENTO CON 80% DE H. A.

Comp. Carga	Gráf. Comp. Princ.
P. S. T.	P. S. T.
P. S. H.	P. S. H.
A. F.	A. F.
D. T.	D. T.
P. S. R.	P. S. R.
V/R.	V/R.

TRATAMIENTO CON 20% DE H. A.

Comp. Carga	Gráf. Comp. Princ.
P. S. T.	P. S. T.
P. S. H.	P. S. H.
P. S. Ta.	P. S. Ta.
A. F.	A. F.
D. T.	D. T.

Cuadro 12.

Comparación de las variables de respuesta que explican en mayor proporción el comportamiento de los diferentes tratamientos evaluados para *A. hypochondriacus* L. sometido a dos niveles de sequía y la asociación observada en las gráficas de componentes principales correspondientes. Obsérvese la alta consistencia que existe en los tratamientos manejados.

El cuadro 12 apoya el supuesto de que las VARIABLES DE BIOMASA son las que explican en mayor grado el comportamiento de las observaciones en los tratamientos evaluados; con lo cual se puede inferir que las VARIABLES DE BIOMASA son las que indican resistencia a sequía en *A. hypochondriacus* L. ya que se observa consistencia entre el alto porcentaje de explicación y la asociación en las gráficas de componentes principales para estas variables.

Las gráficas de componentes principales apoyan los resultados obtenidos por los componentes de carga, ya que al comparar éstos en los diferentes tratamientos, se observa lo siguiente:

TRATAMIENTO CON 100% DE H. A.

Comp. Carga	Gráf. Comp. Princ.
P. S. T.	P. S. T.
P. S. H.	P. S. H.
P. S. Ta.	P. S. Ta.
A. F.	A. F.
D. T.	D. T.
	P. S. R.

TRATAMIENTO CON 80% DE H. A.

Comp. Carga	Gráf. Comp. Princ.
P. S. T.	P. S. T.
P. S. H.	P. S. H.
A. F.	A. F.
D. T.	D. T.
P. S. R.	P. S. R.
V/R.	V/R.

TRATAMIENTO CON 20% DE H. A.

Comp. Carga	Gráf. Comp. Princ.
P. S. T.	P. S. T.
P. S. H.	P. S. H.
P. S. Ta.	P. S. Ta.
A. F.	A. F.
D. T.	D. T.

Cuadro 12.

Comparación de las variables de respuesta que explican en mayor proporción el comportamiento de los diferentes tratamientos evaluados para *A. hypochondriacus* L. sometido a dos niveles de sequía y la asociación observada en las gráficas de componentes principales correspondientes. Obsérvese la alta consistencia que existe en los tratamientos manejados.

El cuadro 12 apoya el supuesto de que las VARIABLES DE BIOMASA son las que explican en mayor grado el comportamiento de las observaciones en los tratamientos evaluados; con lo cual se puede inferir que las VARIABLES DE BIOMASA son las que indican resistencia a sequía en *A. hypochondriacus* L. ya que se observa consistencia entre el alto porcentaje de explicación y la asociación en las gráficas de componentes principales para estas variables.

## 6.5 ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA

Con el objeto de integrar las variables de respuesta que observaron una alta correlación durante las evaluaciones realizadas se construyeron gráficas con número de ejes igual al número de variables significativas, a las que Arriaga (1985) denominó Espectro de Variación Fisiológica (E.V.F.).

Estas gráficas se presentan en las figuras 19 a 23 y están formadas por siete vértices que en su mayoría lo conforman las VARIABLES DE BIOMASA, (nombre asignado a partir del análisis de componentes principales) además del área foliar y de la razón vástago/raíz. En cada vértice del E.V.F. se observan las siglas: NS ó S con subíndices que significan:

- NS - No existen diferencias significativas entre los tratamientos.
- Sr - Existen diferencias significativas entre los tratamientos
- S<sub>1,2</sub> - Existe diferencia significativa sólo en los tratamientos 1 y 2.
- S<sub>1,3</sub> - Existe diferencia significativa sólo en los tratamientos 1 y 3.
- S<sub>2,3</sub> - Existe diferencia significativa solo en los tratamientos 2 y 3.

El tratamiento 1 se manejó con 20%, el 2 con 60% y el 3 o testigo con el 100% de humedad aprovechable (H.A.).

La regla de decisión para diferencias significativas totales o parciales se basó en una prueba de t de student comparada, con un  $\alpha=0.05$  y 8 grados de libertad.



### 6.5.1 ESPECTRO DE VARIACION FISIOLOGICA, PRIMERA EVALUACION

El Espectro de variación fisiológica en la primera evaluación (fig. 19) no muestra diferencias significativas en ninguno de sus componentes, esto quizá se deba al "corto periodo" que tenían los tratamientos bajo control de humedad (10 días). Los valores más altos que se observan en la gráfica son los de la razón vástago/raíz, lo que significa que en éste momento la planta duplicaba el peso seco de la porción aérea en comparación con el sistema radical para cada tratamiento.

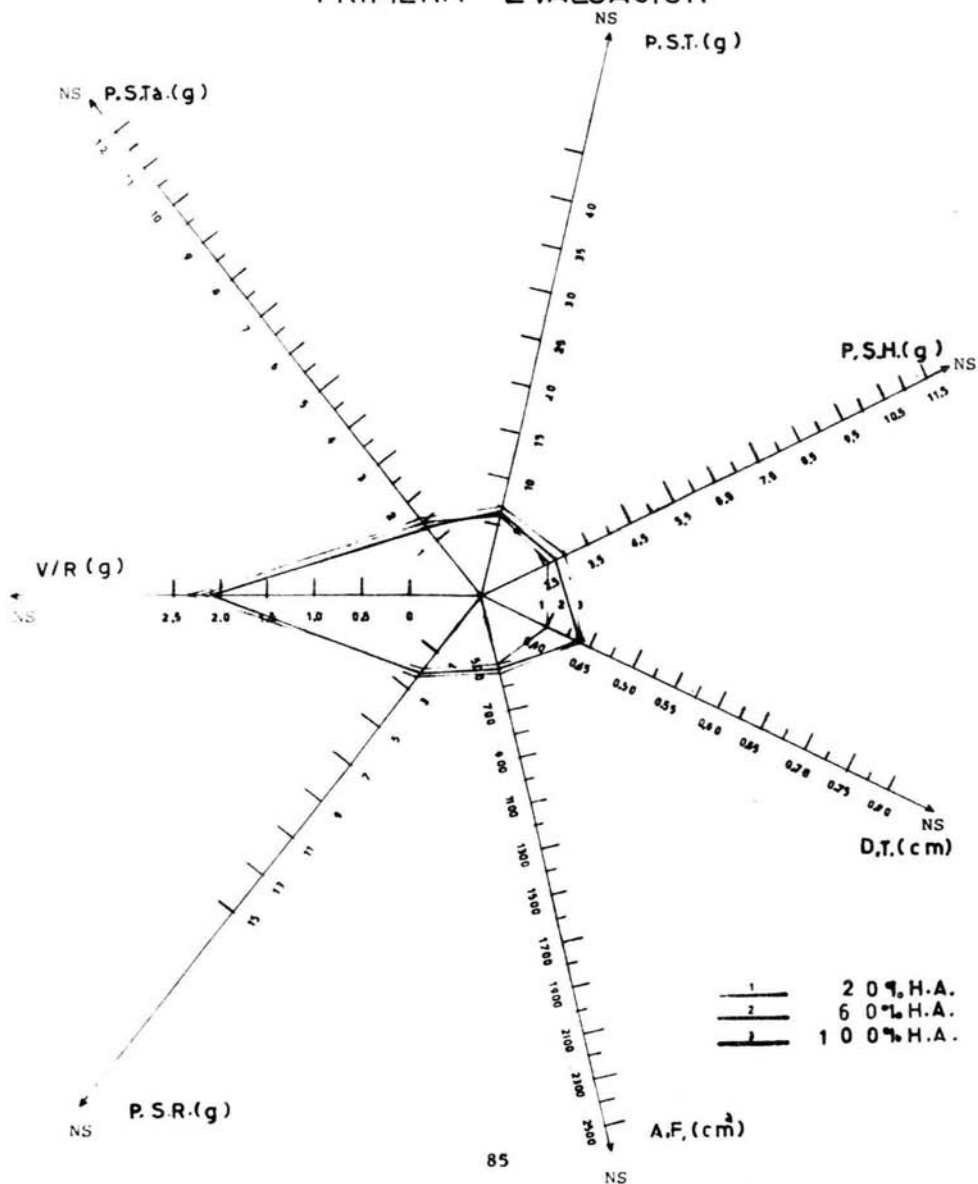
El diámetro del tallo, muestra una estrecha asociación entre los tratamientos testigo y 60% de H.A. que aparentemente comienzan a separarse del tratamiento con 20% de humedad aprovechable el cual muestra el menor diámetro.

En los pesos secos y el área foliar no se observa separación alguna entre los tratamientos, si no más bien una asociación entre ellos.

Fig. 19

ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA  
DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA DE  
A. hypochondriacus L.  
CULTIVADO EN SUELO ARENOSO Y  
TRES NIVELES DE HUMEDAD APROVECHABLE

# PRIMERA EVALUACION



## 6.5.2 ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA, SEGUNDA EVALUACION

En la segunda evaluación, el E.V.F. (fig.20) sigue sin diferencias significativas para los vértices formados por P.S.R., D.T., P.S.Ta. y V/R.

Sin embargo, para el P.S.R. se observa una asociación entre los tratamientos experimentales (1 y 2), rezagándose del tratamiento testigo, quedando con menor peso seco que para este momento resulta explicable si consideramos que las plantas llevan 20 días con deficiencia de humedad. El D.T. y el P.S.Ta. muestran una clara separación entre los tratamientos, alcanzando siempre mayor valor el testigo, a pesar de ello, no existe todavía diferencia estadística significativa.

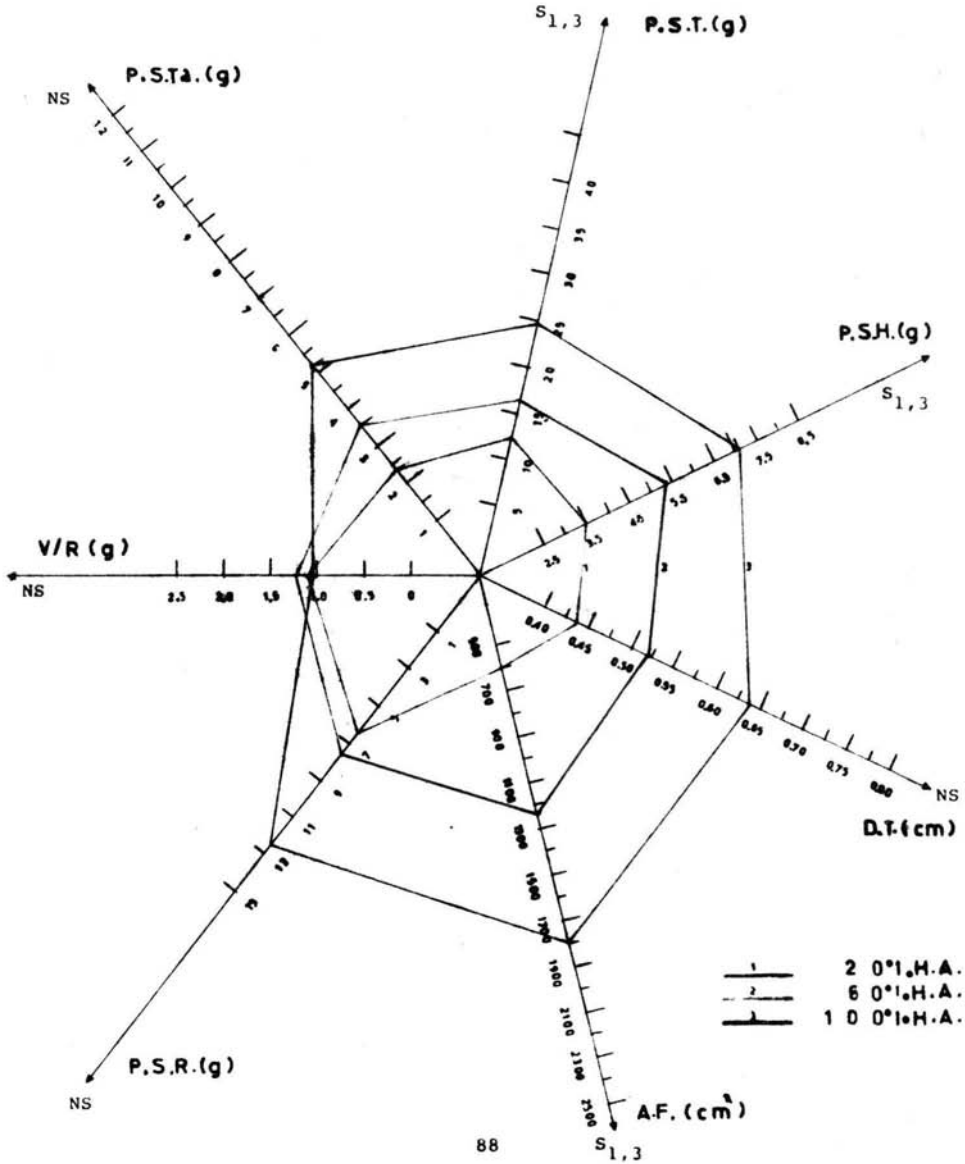
La razón vástago/raíz (V/R) no presenta diferencias significativas, pero a diferencia de la primera evaluación, el valor del índice es muy cercano a 1, lo que significa que en 10 días la planta incrementó su sistema radical sin que la parte aérea haya aumentado de manera importante, esto como una respuesta de la planta para captar con mayor eficiencia el agua disponible y aprovecharla para mantener su turgencia y realizar su crecimiento.

El área foliar y el peso seco de hojas muestran diferencias significativas entre los tratamientos testigo y 20% de H.A. (3 y 1) únicamente, lo mismo sucede para el peso seco total; esto sugiere que el área foliar está estrechamente relacionada con el peso seco final, lo cual resulta lógico si consideramos que la biomasa total depende de la eficiencia fotosintética y ésta a su vez de la superficie foliar total de la planta.

Fig. 20

ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA  
DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA DE  
A. hypochondriacus L.  
CULTIVADO EN SUELO ARENOSO Y  
TRES NIVELES DE HUMEDAD APROVECHABLE

## SEGUNDA EVALUACION



### 6.5.3 ESPECTRO DE VARIACION FISIOLOGICA, TERCERA EVALUACION

La tercera evaluación (fig. 21) proporcionó diferencias significativas entre los tratamientos testigo y 20% de H.A. (3 y 1) para todas las variables de respuesta, excepto para P.S.R. y la razón vástago/raíz. Esta última presenta valores alrededor de 2, lo que significa que la planta incrementa el doble su porción aérea de los 60 a los 70 días posteriores a la siembra en comparación con el sistema radical. En la evaluación anterior se observó un incremento del sistema radical, correspondiendo ahora a la parte aérea, quizá como respuesta a la adaptación que la planta tiene a la deficiencia de humedad, esto es, aumentar primero su sistema radical para asegurar el aporte de agua para después incrementar su área foliar y realizar de manera eficiente la fotosíntesis permitiendo así su llegada a la etapa de floración y fructificación.

El área foliar, peso seco de hojas, peso seco de tallo, diámetro de tallo y como consecuencia el peso seco total mantienen una relación más marcada que en la segunda evaluación, además; se observa la tendencia de una asociación entre el testigo y 60% de H.A. sin que exista diferencia estadística significativa entre los tratamientos experimentales.

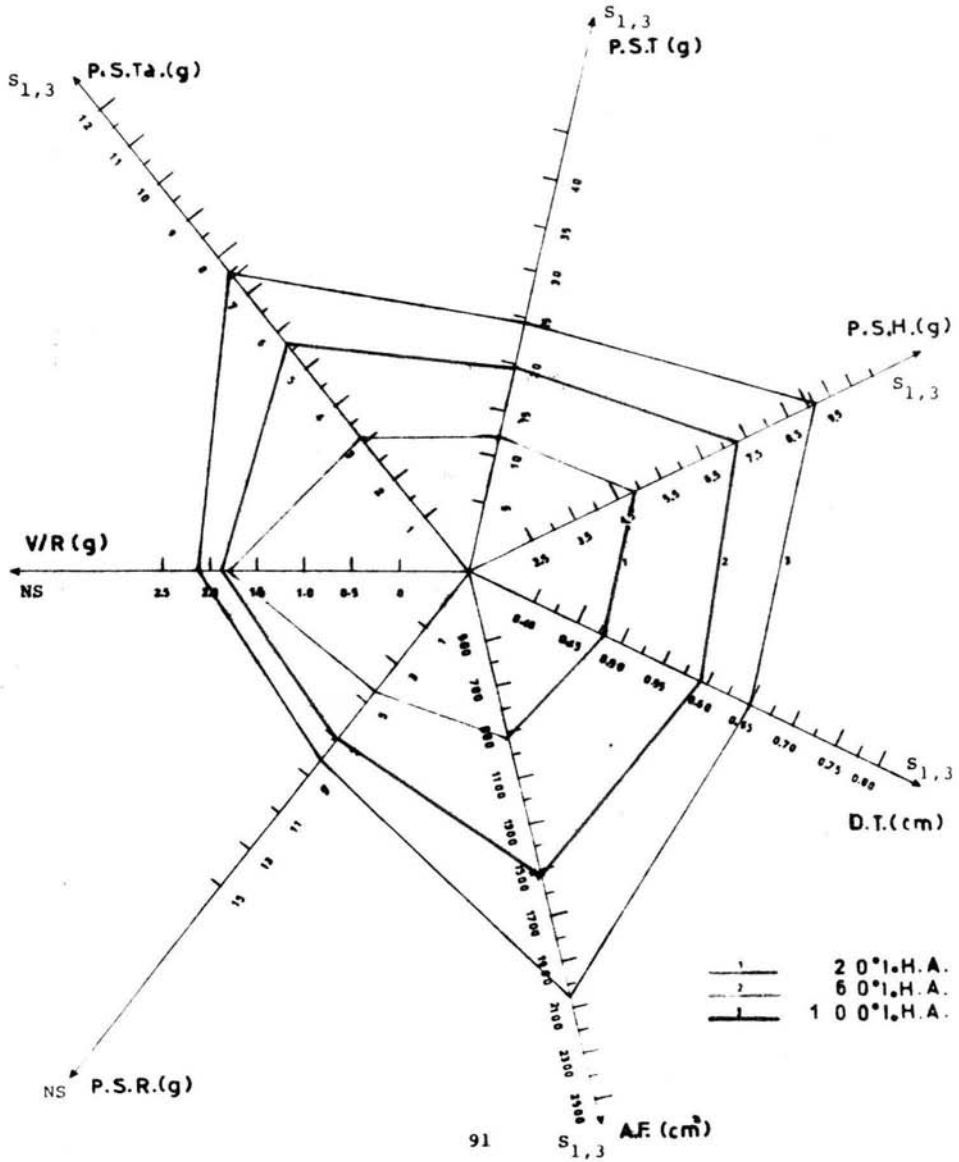
El peso seco de raíces se mantiene sin diferencias significativas entre tratamientos.

Fig. 21

ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA  
DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA DE  
A. hypochondriacus L.  
CULTIVADO EN SUELO ARENOSO Y  
TRES NIVELES DE HUMEDAD APROVECHABLE



# TERCERA EVALUACION



#### 6.5.4 ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA, CUARTA EVALUACION

Al momento de la cuarta evaluación la gráfica de E.V.F. (fig. 22), se comporta por primera vez de manera casi totalmente distinta a las anteriores mediciones. En éste caso, sólo la razón vástago/raíz se mantiene sin diferencias estadísticas significativas, observándose sin embargo un notable incremento de la parte aérea que se manifiesta con la mayor producción de área foliar, y como consecuencia del peso seco de hojas y peso seco del tallo principalmente, esto hace inferir que la planta incrementa su área foliar para mejorar la fotosíntesis y prepararse para la etapa crítica, es decir; la floración y llenado de grano.

Las variables de respuesta restantes (A.F., D.T., P.S.H., P.S.R., P.S.Ta y P.S.T.) presentan diferencia significativas entre los tratamientos testigo y 20% de H.A. y testigo y 60% de H.A. lo cual nos indica que en éste momento las plantas de *A. hypochondriacus* L. se encontraban sometidas a un estado crítico de deficiencia de humedad.

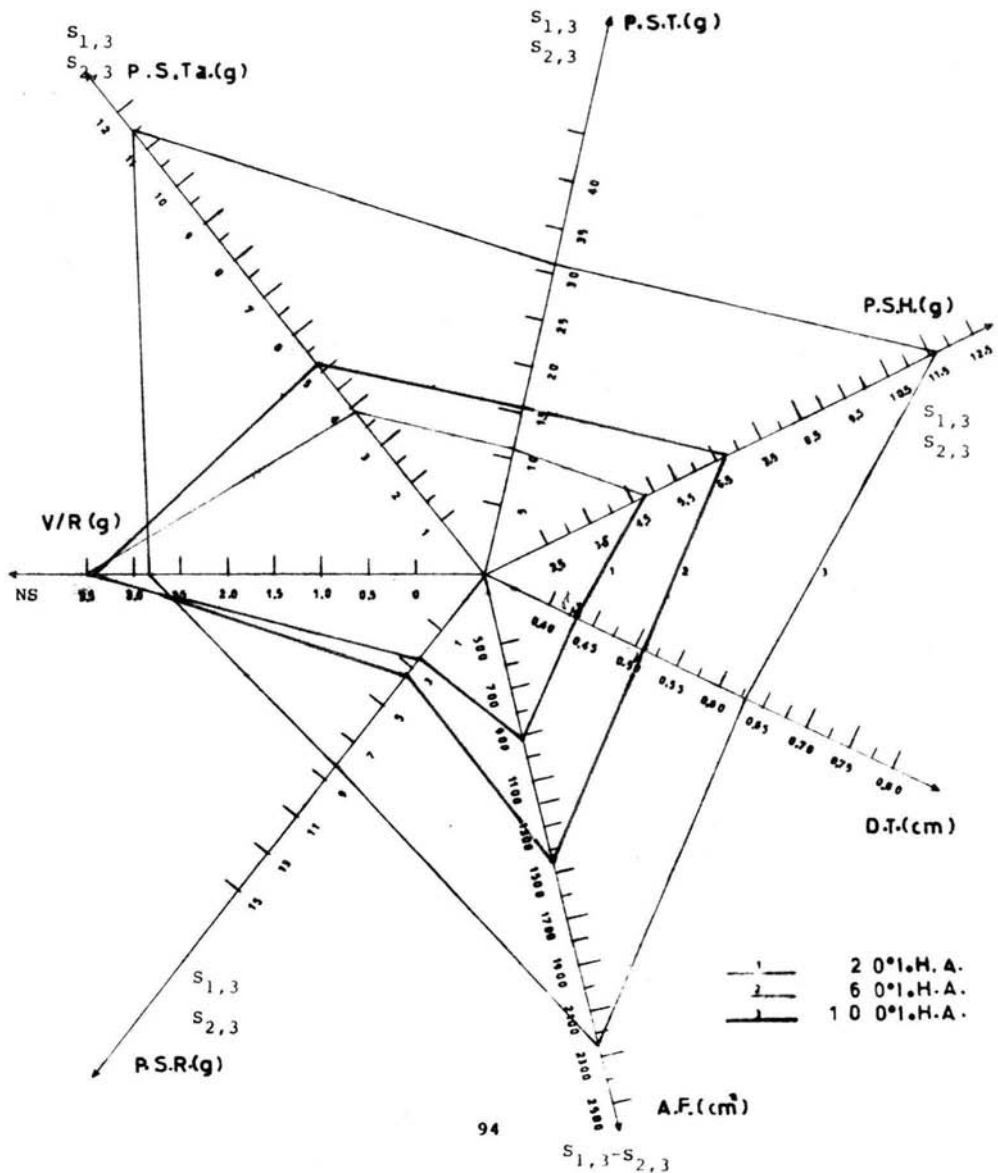
En éste momento se observa además una asociación y marcada diferencia de los tratamientos experimentales con respecto al testigo, lo cual corrobora que la sequía afectó de manera significativa a los tratamientos experimentales, manifestándose ésto con una disminución en la producción de biomasa y productividad total del Amarantho, lo que sucede es que en las condiciones en las que se encuentra la planta, tiene la capacidad para aprovechar eficientemente la humedad disponible, con una producción final de biomasa, menor que en condiciones adecuadas de humedad, es decir; asegura su supervivencia con una alta resistencia y bajo rendimiento biológico.

La razón vástago/raíz permanece sin cambios, lo cual sugiere que el Amarantho presenta un mecanismo que le permite captar el agua disponible y mantener su turgencia celular para la etapa de floración y fructificación. Este mecanismo puede ser como menciona Villasana (1988) el ajuste osmótico.

Fig. 22

ESPECTRO DE VARIACION FISIOLOGICA  
DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA DE  
A. hypochondriacus L.  
CULTIVADO EN SUELO ARENOSO Y  
TRES NIVELES DE HUMEDAD APROVECHABLE

# CUARTA EVALUACION



### 6.5.5 ESPECTRO DE VARIACION FISIOLÓGICA, QUINTA EVALUACION

Para el último tiempo de evaluación, la gráfica de E.V.F. (fig. 23) presentó la respuesta que como consecuencia de la deficiencia de humedad se esperaba para el diseño manejado, esto es; diferencias significativas en casi todas las variables de respuesta.

Las variables de biomasa junto con el área foliar mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, en ellas se observa una relación equidistante en los valores obtenidos para cada tratamiento, con una separación suficiente para que estadísticamente sean diferentes, lo cual infiere que la planta de *A. hypochondriacus* L. desde la cuarta evaluación y hasta este momento fue afectada de manera significativa por la deficiencia de humedad, evidenciándose esto con una menor producción de biomasa. El diámetro del tallo mantuvo el mismo comportamiento que en la segunda evaluación.

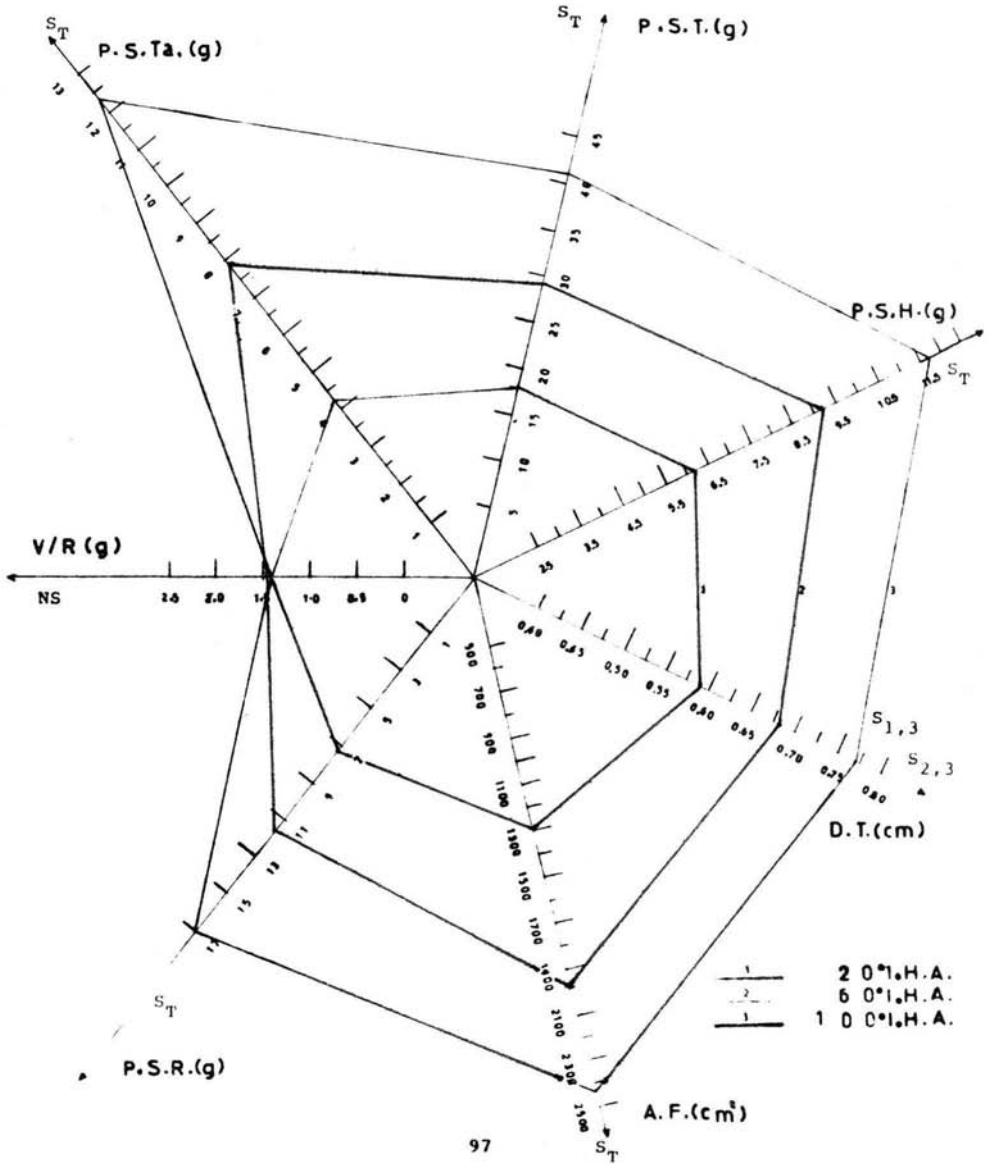
La respuesta verdaderamente interesante es la que presenta el índice vástago/raíz, el cual durante todas las evaluaciones se mantuvo sin diferencias estadísticas significativas a pesar de los cambios que ocurren en las partes parciales de la planta. Esto apoya los comentarios de que el Amaranto tiene la capacidad para soportar largos periodos con deficiencia de humedad, y como Reyna (1986) lo afirma; por abajo del 30%. En este caso, podemos afirmar que la razón vástago/raíz no es afectada incluso por abajo del 20% de humedad aprovechable.

La alta capacidad del Amaranto para soportar periodos prolongados de sequía está estrechamente relacionada con su gran facilidad para captar el agua disponible en el suelo y mantener su turgencia celular. Esto pudo constatarse con la realización del presente trabajo ya que en determinados momentos las plantas se mostraban totalmente flácidas y caedizas, con hojas poco turgentes y aproximadamente 8 minutos después del riego correspondiente para cada tratamiento, estas se encontraban casi totalmente recuperadas y erectas.

Fig. 23

ESPECTRO DE VARIACION FISIOLOGICA  
DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA DE  
A. hypochondriacus L.  
CULTIVADO EN SUELO ARENOSO Y  
TRES NIVELES DE HUMEDAD APROVECHABLE

# QUINTA EVALUACION



## VII. CONCLUSIONES

El área foliar presentó un ritmo de incremento directamente proporcional con respecto al tiempo, siendo siempre mayor para el tratamiento testigo. El tratamiento con 80% de H.A. incrementó su área foliar en un 72.30% y el 20% de H.A. en un 45.30% en comparación con el testigo a lo largo de las evaluaciones. Con respecto a la productividad total de área foliar, el tratamiento con 80% de H.A. cubrió el 74.48%, mientras que el 20% de H.A. alcanzó el 46.70% del total de área producida por el testigo. La deficiencia de humedad afecta el incremento de área foliar en *A. hypochondriacus* L.

Para el Área Foliar Específica, la sequía tiene su efecto durante la segunda y tercera evaluación, aproximadamente en las 3/4 partes de la fase vegetativa del Amarantho. Al final de las evaluaciones la planta se encuentra en una relación óptima entre fotosíntesis y respiración, logrando así la producción de grano que asegura la sobrevivencia de la planta.

Los valores más altos de la Relación del Área Foliar en el tratamiento testigo se observan durante las primeras evaluaciones, y van disminuyendo conforme éstas avanzan, lo cual significa que al avanzar el ciclo biológico del Amarantho existe crecimiento y diferenciación de otros órganos entre los cuales será distribuido el peso seco producido. Los tratamientos experimentales muestran un comportamiento irregular. La sequía tiene su efecto algunos días antes de la etapa reproductiva de la planta.

La D.A.F. mantiene un alto coeficiente de determinación lineal a través del tiempo, con diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento con 80% de H.A. tiene una fuente de productos fotosintéticos de 68.8%, mientras que el 20% presentó 49.8% con respecto al testigo.

El número de estomas no puede tomarse en este trabajo como indicador de sequía, ya que no se observan diferencias significativas entre tratamientos a través del tiempo.

En la evaluación de C.R.A. y  $\psi$ , los tratamientos testigo y 80% de H.A. se asocian en su comportamiento, separándose significativamente del tratamiento con 20% de H.A. Por lo cual se sugiere que en posteriores trabajos se manejen niveles de humedad inferiores al 80% de H.A. para la evaluación de éstos parámetros.

Los altos valores de transpiración en el tratamiento testigo con respecto a los experimentales se asocian al alto contenido relativo de agua y alto potencial hídrico. Para los tratamientos experimentales los valores de transpiración disminuyen a medida que disminuye el C.R.A. y potencial hídrico.

La gráfica de transpiración asoció los tratamientos experimentales, cuyos valores disminuyen al finalizar el período vegetativo del Amarantho (última evaluación) lo cual concuerda con la respuesta observada en C.R.A. y  $\psi$ . Se sugieren trabajos donde la transpiración se evalúe a lo largo del día y no de manera



puntual.

El poco desarrollo radical de los tratamientos experimentales fué influido por la deficiencia de humedad, ya que no se presentó el efecto de maceta durante los muestreos de éste diseño. El menor volumen de raíces en los tratamientos experimentales se reflejó sobre la productividad total de biomasa.

El crecimiento en diámetro del tallo se reduce en un 25% para el tratamiento con 60% de H.A. y en un 42% para el 20% de humedad aprovechable en comparación con el testigo.

Durante la fase previa a la floración se observó un incremento significativo del diámetro del tallo. Esto quizá para facilitar la translocación de fotosintatos para el llenado del grano.

El peso seco de hojas presentó una alta determinación lineal con respecto al tiempo, manifestándose el efecto de la sequía 20 días después del control de humedad al igual que el P.S.Ta. y P.S.R. En éste último existió una asociación en la respuesta de los tratamientos experimentales.

Los tratamientos experimentales (60 y 20% de H.A.) produjeron el 68.20% y 46.59% respectivamente de la cantidad de biomasa (P.S.T.) producida por el testigo durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L.

La razón vástago/raíz observa un comportamiento irregular y se mantiene sin diferencias significativas durante las evaluaciones realizadas. Su respuesta a la deficiencia de humedad es incrementar primero un sistema radical que le permita captar con mayor facilidad el agua disponible para posteriormente incrementar la parte aérea alcanzando su máximo 80 días después de la siembra. Si se toma en cuenta que en esta etapa la planta ha dejado de crecer y se aproxima la formación de órganos florales, se entenderá la disminución de la razón vástago/raíz en la última evaluación, como una estrategia que asegura la reproducción por medio de un desarrollo radical que permite mayor exploración del suelo y aprovechamiento de la humedad disponible.

Mediante el análisis de componentes principales se determinó que las variables con correlación lineal significativa son los pesos secos parciales y total, además del diámetro del tallo y área foliar en sus diferentes combinaciones.

El P.S.H. vs A.F. son significativos con un  $\alpha=0.01$  en los tres tratamientos.

En el tratamiento testigo las VARIABLES DE BIOMASA formadas por: P.S.T., P.S.H., P.S.Ta., A.F. y D.T. explican en un 53.80% el comportamiento de las observaciones para ése tratamiento.

Tomando como referencia el tratamiento testigo, en el 60% de humedad aprovechable se suman a las VARIABLES DE BIOMASA Vr. y P.S.R. y explican en un 44.46% el comportamiento de las observaciones para ése tratamiento.

El tratamiento con el 20% de H.A. mostró las mismas VARIABLES DE BIOMASA que el testigo, con la diferencia de que éstas explican el comportamiento de las observaciones en un 42.93%.

Las VARIABLES DE BIOMASA explican en mayor grado el comportamiento de los parámetros evaluados en el presente trabajo.

Las VARIABLES DE BIOMASA indican resistencia a sequía en *Amaranthus hypochondriacus* L.

El Espectro de Variación Fisiológica (E.V.F.) no muestra diferencias significativas en la primera evaluación debido al corto periodo de control de humedad que tenían los tratamientos en ese momento.

El E.V.F muestra a la cuarta y quinta evaluación como los estados más críticos de deficiencia de humedad en *A. hypochondriacus* L.

La deficiencia de humedad afectó de manera significativa los tratamientos experimentales manifestándose como una disminución del peso seco y como consecuencia de la productividad total de biomasa en *A. hypochondriacus* L. sin embargo el Amaranto tiene la capacidad para aprovechar eficientemente la humedad disponible con una producción de biomasa menor que en condiciones adecuadas de humedad.

Dado que la razón vástago/raíz no presentó diferencias significativas, podemos sugerir que el Amaranto no es afectado en este índice aunque la sequía sea ligeramente inferior al 20% de H.A.

La capacidad del Amaranto para soportar periodos prolongados de sequía está estrechamente relacionada con su gran facilidad para captar el agua disponible y mantener su turgencia celular.

La planta de *Amaranthus hypochondriacus* L. cuando se encuentra caediza y flácida por pérdida de turgencia sólo necesita de 8 minutos aproximadamente para su recuperación, aun cuando el riego se realice sólo con el 20% de humedad aprovechable.

El Amaranto sometido a sequía asegura una producción de biomasa sin que la cosecha se pierda. Así, podemos decir que en zonas áridas o semiáridas donde el agua de riego no está disponible la mejor opción para no perder la cosecha es el cultivo del Amaranto, ya que vale más un cultivo que garantice una producción suficiente con deficiencia de humedad y no otro que prometa una producción excelente bajo la condición de gran disponibilidad de agua.

Con este trabajo se corrobora la hipótesis inicialmente planteada ya que la deficiencia de humedad afecta de manera diferencial las variables evaluadas durante la etapa vegetativa de *Amaranthus hypochondriacus* L. A pesar de ello el Amaranto es una buena opción para cultivarlo en zonas restringidas de humedad y aliviar la situación de un país como el nuestro que pretende mayor desarrollo económico y nutricional.

## SUGERENCIAS

Como trabajo posterior sería importante realizar un estudio comparativo de Amarantos de grano, teniendo presente que para ello sólo se tomarán en cuenta las variables más significativas como respuesta a la deficiencia de humedad o indicadores de sequía (A.F.,  $\psi$ , P.S.T., V/R, D.T. y como opcionales los pesos secos parciales). Además, convendría manejar el tratamiento control por abajo del 100% de humedad aprovechable (entre 60 y 80%), manteniendo niveles experimentales en condiciones más extremas de sequía.

Resultaría particularmente interesante realizar un trabajo donde únicamente se evalúe el comportamiento de la transpiración a lo largo del día, ya que podría compararse de manera significativa con el número de estomas por unidad de área foliar, evitando así puntualizar una medición que depende de las variaciones y cambios ambientales.

## VIII. APORTACIONES FINALES

Sería importante definir estrategias de muestreo de fuentes genéticas, a) Por ubicación geográfica (i.e. procedentes de zonas de menos de 300mm hasta 800mm de precipitación anual) para definir áreas de adaptabilidad óptima. b) Obtener información etnobotánica para ubicar características potenciales o reales con respecto a resistencia y/o productividad, palatabilidad, ciclo de vida (corto o largo)... o bien c) Adquirir variedades seleccionadas y caracterizadas agrónomicamente (días a floración, días a producción, periodo vegetativo e índice de cosecha entre otros) pero no fisiológicamente.

Lo anterior con el objeto de incrementar la información sobre los mecanismos utilizados dentro del género para mantener la resistencia a la sequía. La detección de características importantes dentro de esta planta valorables en materia de estabilidad y heredabilidad genética permitiría abrir la perspectiva de incluir algunos de los parámetros aquí estudiados en los programas de mejoramiento manejados con criterio agronómico.

En este momento desconocemos para el género Amarantho si de la misma forma que en maíz, de acuerdo a lo reportado por Muñoz (1980) los genes determinantes de resistencia a sequía, heladas y producción actúan de manera independiente o dependiente; por lo que resultaría elemental dilucidar este problema en virtud de que si fueran los primeros, obligaría a la obtención de fuentes de resistencia (estables y heredables) para cruzarlos con fuentes más productivas pero poco resistentes, en este aspecto lo que se pretende conseguir son variedades que contengan genes con alta resistencia a la sequía y alta productividad. Por el contrario, de ser genes interactuantes habría que valorar si es una interacción negativa (disminución en la producción) la cual permite la sobrevivencia de la planta, más no una producción rentable; o positiva (incremento de producción) lo que significaría que el incremento de producción permite la sobrevivencia de la planta. Cualquiera de las dos posturas determinaría a su vez características de adaptación a estratos estresantes distintos.

Si consideramos la gran trascendencia histórica del Amarantho dentro del pueblo Azteca y la persistencia de los conquistadores Españoles por abolir su cultivo, podemos asumir una gran variabilidad fisiogenética de esta planta, ya que a pesar de ello pudo conservarse hasta nuestros días. Sería importante sin embargo conocer la relación que existe entre el grado de domesticación del Amarantho y la variabilidad fisiogenética actual, lo que permitiría una selección de variedades resistentes con posibilidades de características heredables, trayendo como consecuencia una mejor explotación de las zonas áridas de nuestro país.

## IX. LITERATURA CONSULTADA

- 1).- Aguilar, J. G. y Alatorre Frenk. 1978. MONOGRAFIA DE LA PLANTA DE LA ALEGRIA. Memoria del grupo de estudios ambientales, A.C. año 1, Número 1.
- 2).- Alejandro, I. J. y Gómez Lorence. 1986. VIABILIDAD EN TIPOS CRIOLLOS DE AMARANTO (*Amaranthus spp.*) EN LA REGION CENTRAL DE MEXICO. en: Trinidad, S. A. El Amaranto. 1er. Seminario Nal. Chapingo, Méx. pp. 242-261.
- 3).- Arriaga, F. A. 1986. EVALUACION DE LA RESPUESTA FISIOLOGICA DE TRES VARIETADES DE SORGO BAJO EL ESQUEMA RIEGO-SEQUIA. Tesis, U.N.A.M. - E.N.E.P. Iztacala 74p.
- 4).- Ballesteros, P. G. A. 1983. EL SOMBREADO ARTIFICIAL EN UN FRIJOL INDETERMINADO ARBUSTIVO; EFECTOS MORFOLOGICOS Y FISIOLOGICOS. Tesis, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 249pp.
- 5).- Begg, J. E. and N. C. Turner. 1976. CROPWATER DEFICITS. Adv. Agronomy 28: 121-127.
- 6).- Bidwell, S. G. 1979. PLANT PHYSIOLOGY. Macmillan publishing c o. U.S.A. 726pp.
- 7).- Blum, A. 1970. EFFECT OF PLANT DENSITY AND GROWTH DURATION OF GRAIN SORGHUM YIELD UNDER LIMITED WATER SUPPLY. Agron. J. 62: 333-336.
- 8).- Castilla, C. F. 1980. AMARANTO. I.N.I.A. México, 25pp.
- 9).- Daunbenmire, R. F. 1982. ECOLOGIA VEGETAL. Limusa, México. 351pp.
- 10).- Del Río, P. M. 1988. EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA. Tesis, U.N.A.M. - E.N.E.P. Zaragoza. 61pp.
- 11).- Fischer, et al 1984. MEJORAMIENTO Y SELECCION DE MAIZ TROPICAL PARA INCREMENTAR SU RESISTENCIA A LA SEQUIA. CIMMYT. México D.F. 20pp.
- 12).- Gavande, A.S. 1982. FISICA DE SUELOS. Limusa, México. 351pp.
- 13).- Iturbide. 1986. LA PLANTA DE AMARANTHUS en: Rodale, *Amaranth* Modern Prospect for an Ancient Crop. F.R. Ruskin, Bastid editor. 76pp.
- 14).- Jiménez, P. R. y S. Cordero E. 1986. *Amaranthus spp.* EN LA ALIMENTACION XOCHIMILCA Y SU PROYECCION EN LA ALIMENTACION BASICA. en: Trinidad, S. A. El Amaranto. 1er. Seminario Nal. Chapingo, Méx. pp. 56-64.

- 15).- Jones, M. M., N. C. Turner and C. B. Osmond. 1981. MECHANISMS OF DROUGHT RESISTENCE. en: PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF DROUGHT RESISTANCE IN PLANTS. Academic Press Australia. pp. 15-37.
- 16).- Kramer, P. J. 1974. RELACIONES HIDRICAS DE SUELO Y PLANTAS. Edutex, México. 538pp.
- 17).- Krieg, D. R. PHOTOSINTETIC ACTIVITY DURING STRESS. Agricultural Water Management, 7(1983) 249-263.
- 18).- Levitt, J. 1972. RESPONSES OF PLANTS TO ENVIROMENT STRESSES Vol. II. WATER RADIATION SALT AND OTHER STRESS. 2nd. ed. Academic Press. New York. pp. 187-211.
- 19).- Levitt, J. 1974. INTRODUCTION TO PLANT PHYSIOLOGY. Second edition, the C. V. Mosby Company Saint Louis. 447pp.
- 20).- Mapes, C. 1986. UNA REVISION SOBRE LA UTILIZACION DEL GENERO *Amaranthus* EN MEXICO en: Trinidad, S. A. El Amaranto. 1er. Seminario Nal. Chapingo, Méx. pp.65-76.
- 21).- May, L. H. and F. F. Milthorpe. 1962. DROUGHT RESISTANCE OF CROP PLANTS. Field Crop Abstracts. Vol. 15, No. 3: 171-179.
- 22).- Mc Cree, K. J. and S. D. Davis. 1974. EFFECT OF WATER STRESS AND TEMPERATURE ON LEAF SIZE AND NUMBER OF EPIDERMAL CELLS IN GRAIN SORGHUM. Crop Sci. 14: 751-755
- 23).- Medina, D. K. 1982. ESTUDIO SOBRE DENSIDADES DE SIEMBRA Y FERTILIZACION CON NITROGENO Y FOSFORO EN EL CULTIVO DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Tesis, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- 24).- Medina, E. 1977. INTRODUCCION A LA ECOFISIOLOGIA VEGETAL. Editora: Eva V. chsneau. Washington 97pp.
- 25).- Morales, P. J., D. G. Sánchez y J. Martínez H. 1986. RESPUESTA DEL AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.) A LA FERTILIZACION QUIMICA Y ORGANICA EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN DOS AREAS DEL ESTADO DE TLAXCALA. en: Trinidad, S. A. El Amaranto. 1er. Seminario Nal. Chapingo, Méx. pp. 152-174.
- 26).- Muñoz, O. A. 1980. RESISTENCIA A LA SEQUIA Y MEJORAMIENTO GENETICO. Ciencia y Desarrollo. Núm. 33:26-35.
- 27).- Parsons, R. L. 1987. RESPUESTAS DE LA PLANTA A LA DEFICIENCIA DE AGUA. en Christiansen, N. M. Mejoramiento de Plantas en Ambientes poco favorables. Limusa, México. pp. 211-231.
- 28).- Passioura, B. J. 1981. WATER COLLECTION BY ROOTS. en: PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF DROUGHT RESISTANCE IN PLANTS. Academic Press Australia. pp. 39-53.

- 29). - Pulido M. L. 1987. EL NITROGENO Y LA HUMEDAD EN EL RENDIMIENTO DE GRANO, MATERIA SECA Y CALIDAD DE PROTEINA DE *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*. Tesis, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- 30). - Qúizenberry, J. E. 1897. MEJORAMIENTO DE LA PLANTA PARA LA RESISTENCIA A LA SEQUIA Y EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA. en: Christiansen, N. M. Mejoramiento de plantas en Ambientes Poco Favorables. Limusa, México. pp.233-256.
- 31). - Raven, H. P. 1975. BIOLOGIA VEGETAL. Omega, Barcelona, 716p.
- 32). - Ramírez, D. J. L. 1985. ANALISIS DEL CRECIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE LOS HIBRIDOS DE MAIZ H-30 y H-131 Y DE SUS PROGENITORES. Tesis, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 181pp.
- 33). - Reyna, T. T. 1986. REQUERIMIENTOS CLIMATICOS PARA EL CULTIVO DEL AMARANTO (*Amaranthus spp.*) EN MEXICO. en: Trinidad, S. A. El Amaranto. 1er. Seminario Nal. Chapingo, México. pp. 81-89.
- 34). - Rojas, G. M. y M. R. Merino. 1984. FISILOGIA VEGETAL APLICADA. Mc Graw-Hill. México. 302pp.
- 35). - Rzedowski, J. 1986. VEGETACION DE MEXICO. Limusa. México. 432pp.
- 36). - Salisbury, F. B, and C. W. Ross 1978. PLANT PHYSIOLOGY. Second edition. Wadsworth Publishing Company, Inc. California. 422pp.
- 37). - Sánchez Marroquín, A. 1980. POTENCIALIDAD AGROINDUSTRIAL DEL AMARANTO. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. México.
- 38). - Suárez, R. G. 1984. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS MORFOLOGICOS Y FISILOGICOS DEL AMARANTO. Seminario Nal. ITESM-U. Oro.
- 39). - Trinidad, S. A., F. G. Lorence y G. Suárez R. 1986 EL AMARANTO, SU CULTIVO Y APROVECHAMIENTO. Memorias, 1er. Seminario Nal. Chapingo, Méx. 577pp.
- 40). - Villasana, G. F. 1988. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISILOGICAS QUE CONFIEREN RESISTENCIA A LA SEQUIA AL AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Tesis Licenciatura, U.A.CH. México.

X. ANEXOS

COEFICIENTES DE DETERMINACION LINEAL

VARIABLES EVALUADAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD		APROVECHABLE	
	20%	60%		100%
A. F.	$r^2$	0.937	0.869	0.797
	b	19.071	30.427	42.075
P. S. H.	$r^2$	0.956	0.887	0.914
	b	0.083	0.137	0.224
P. S. Ta.	$r^2$	0.984	0.826	0.970
	b	0.068	0.102	0.279
P. S. R.	$r^2$	0.220	0.397	0.523
	b	0.07	0.148	0.25
P. S. T.	$r^2$	0.714	0.722	0.895
	b	0.22	0.43	0.756
$\psi$	$r^2$	0.863	0.430	0.142
	b	-0.158	-0.031	0.022
D. T.	$r^2$	0.597	0.656	0.748
	b	0.004	0.005	0.006
D. A. F.	$r^2$	0.008	0.022	0.884
	b	26.34	36.38	52.85

Coefficientes de determinación lineal y ritmo de incremento o decremento (b) para las variables de biomasa evaluadas durante la etapa vegetativa de *A. hypochondriacus* L. sometido a dos niveles de sequía.



VALORES DE t DE LAS VARIABLES CON ALTA CORRELACION SIGNIFICATIVA

TIEMPOS DE EVALUACION	VARIABLES			EVALUADAS		
	A. F.	D. T.	P. S. T.	P. S. H.	P. S. Ta.	P. S. R.
1	t <sub>1,2</sub> = -0.288 t <sub>1,3</sub> = -0.310 t <sub>2,3</sub> = 0.026	t <sub>1,2</sub> = -0.736 t <sub>1,3</sub> = -0.736 t <sub>2,3</sub> = ----	t <sub>1,2</sub> = -0.551 t <sub>1,3</sub> = -0.251 t <sub>2,3</sub> = 0.286			
2	t <sub>1,2</sub> = -1.794 t <sub>1,3</sub> = -5.591* t <sub>2,3</sub> = -1.441	t <sub>1,2</sub> = 0.468 t <sub>1,3</sub> = 1.289 t <sub>2,3</sub> = -1.258	t <sub>1,2</sub> = -0.726 t <sub>1,3</sub> = -2.704 t <sub>2,3</sub> = -1.369			
3	t <sub>1,2</sub> = -2.263 t <sub>1,3</sub> = -3.897* t <sub>2,3</sub> = -1.493	t <sub>1,2</sub> = -1.763 t <sub>1,3</sub> = -3.337* t <sub>2,3</sub> = -0.937	t <sub>1,2</sub> = -1.905 t <sub>1,3</sub> = -2.858* t <sub>2,3</sub> = -0.924			
4	t <sub>1,2</sub> = -2.102 t <sub>1,3</sub> = -5.590* t <sub>2,3</sub> = -3.001*	t <sub>1,2</sub> = -1.780 t <sub>1,3</sub> = -4.450* t <sub>2,3</sub> = -3.048*	t <sub>1,2</sub> = -1.49 t <sub>1,3</sub> = -5.0451* t <sub>2,3</sub> = -4.238*			
5	t <sub>1,2</sub> = -3.245* t <sub>1,3</sub> = -5.715* t <sub>2,3</sub> = -3.707*	t <sub>1,2</sub> = -1.758 t <sub>1,3</sub> = -4.695* t <sub>2,3</sub> = -2.364*	t <sub>1,2</sub> = -3.668* t <sub>1,3</sub> = -9.975* t <sub>2,3</sub> = -5.732*			
1	t <sub>1,2</sub> = -0.496 t <sub>1,3</sub> = -0.278 t <sub>2,3</sub> = 0.235	t <sub>1,2</sub> = -0.055 t <sub>1,3</sub> = 0.379 t <sub>2,3</sub> = 0.349	t <sub>1,2</sub> = -0.879 t <sub>1,3</sub> = -0.595 t <sub>2,3</sub> = 0.126			
2	t <sub>1,2</sub> = -0.773 t <sub>1,3</sub> = -3.745* t <sub>2,3</sub> = -1.057	t <sub>1,2</sub> = -0.943 t <sub>1,3</sub> = 0.201 t <sub>2,3</sub> = -1.230	t <sub>1,2</sub> = -0.967 t <sub>1,3</sub> = -2.016 t <sub>2,3</sub> = -1.411			
3	t <sub>1,2</sub> = -1.893 t <sub>1,3</sub> = -3.346* t <sub>1,3</sub> = -2.141	t <sub>1,2</sub> = -2.025 t <sub>1,3</sub> = -2.810* t <sub>2,3</sub> = -1.046	t <sub>1,2</sub> = -1.656 t <sub>1,3</sub> = -2.253 t <sub>2,3</sub> = -0.599			
4	t <sub>1,2</sub> = -1.672 t <sub>1,3</sub> = -5.371* t <sub>2,3</sub> = -3.903*	t <sub>1,2</sub> = -0.811 t <sub>1,3</sub> = -4.083* t <sub>2,3</sub> = -4.640*	t <sub>1,2</sub> = -1.521 t <sub>1,3</sub> = -5.445* t <sub>2,3</sub> = -4.417*			
5	t <sub>1,2</sub> = -3.829* t <sub>1,3</sub> = -7.284* t <sub>2,3</sub> = -7.793*	t <sub>1,2</sub> = -3.265* t <sub>1,3</sub> = -9.455* t <sub>2,3</sub> = -4.878*	t <sub>1,2</sub> = -4.176* t <sub>1,3</sub> = -10.67* t <sub>2,3</sub> = -6.591*			

Valores de t de las VARIABLES DE BIOMASA obtenidos para cada tiempo de evaluación. El \* indica que existe significancia entre los tratamientos con un  $\alpha=0.05$  y 8 grados de libertad. Los números 1, 2 y 3 representan los tratamientos 20, 60 y 100% de humedad aprovechable respectivamente

VALORES DE t DE LAS VARIABLES CON ALTA CORRELACION SIGNIFICATIVA

TIEMPO DE EVALUACION	VARIABLES	EVALUADAS
	V/R	
1	t <sub>1,2</sub> =	0.226
	t <sub>1,3</sub> =	0.492
	t <sub>2,3</sub> =	0.178
2	t <sub>1,2</sub> =	-0.965
	t <sub>1,3</sub> =	0.149
	t <sub>2,3</sub> =	1.950
3	t <sub>1,2</sub> =	-0.441
	t <sub>1,3</sub> =	-1.274
	t <sub>2,3</sub> =	-1.021
4	t <sub>1,2</sub> =	0.210
	t <sub>1,3</sub> =	1.970
	t <sub>2,3</sub> =	1.561
5	t <sub>1,2</sub> =	-0.952
	t <sub>1,3</sub> =	----
	t <sub>2,3</sub> =	0.750

Valores de t de las VARIABLES DE BIOMASA obtenidos para cada tiempo de evaluación. En este caso, no se observan diferencias significativa entre los tratamientos con un  $\alpha=0.05$  y 8 grados de libertad. Los números 1, 2 y 3 representan los tratamientos 20, 60 y 100% de humedad aprovechable respectivamente.

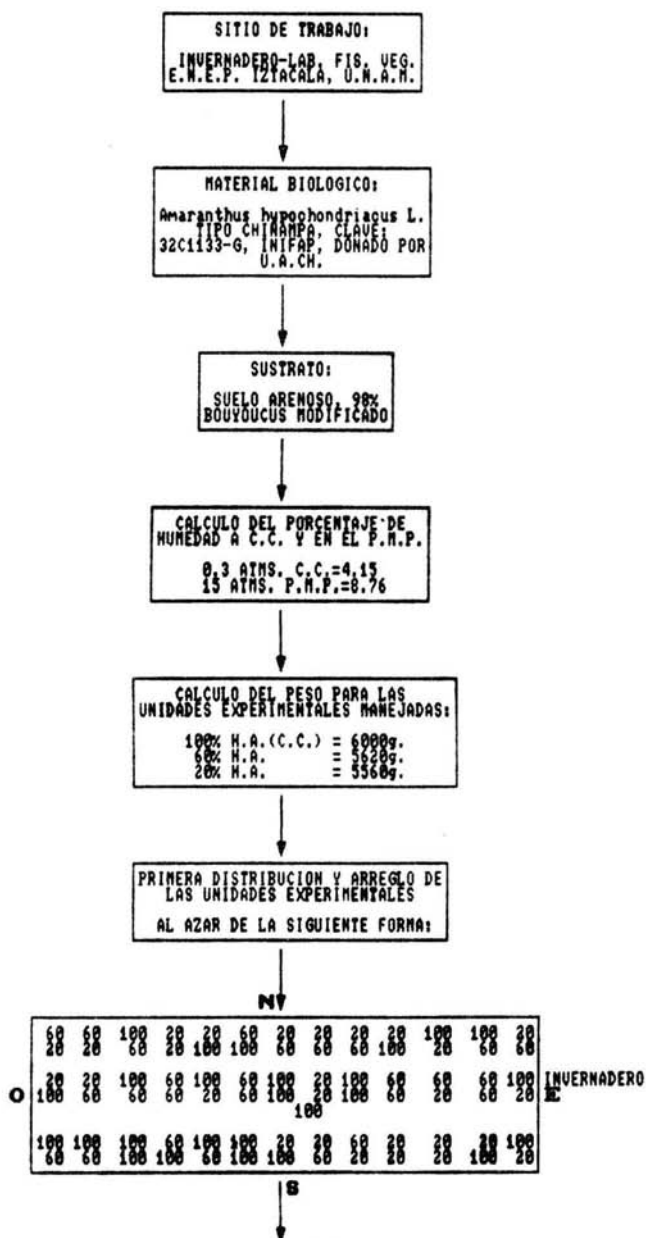
CUADRO DE ERRORES STANDARD DE LAS MEDIAS PARA CADA VARIABLE EVALUADA

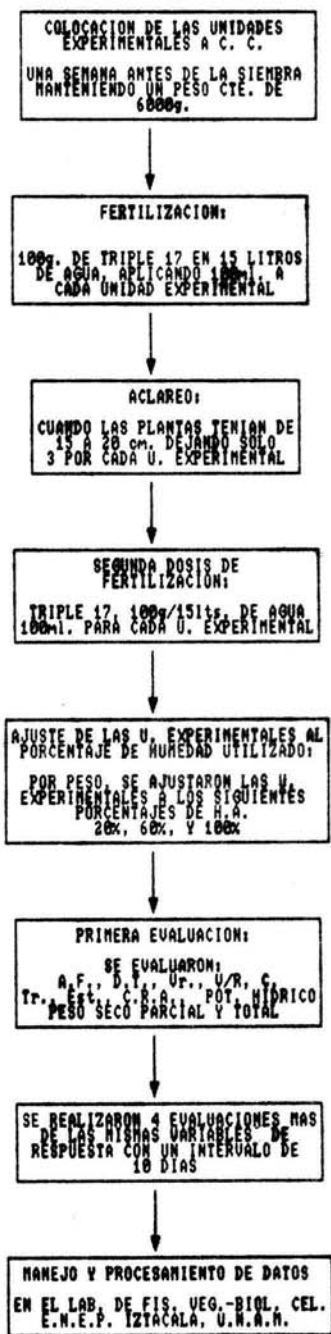
PORCENTAJE DE UNIDAD VARIABLES EVALUADAS		NUMERO DE EVALUACIONES ( DIAS )				
		50	60	70	80	90
A.F.	20%	104.850	79.914	99.706	134.661	165.503
	60%	129.213	305.965	214.840	172.995	88.458
	100%	94.708	174.906	241.562	159.544	69.694
A.F.E.	20%	12.075	26.639	4.371	7.338	8.595
	60%	13.365	5.843	5.370	10.470	15.391
	100%	12.981	3.519	6.211	8.017	7.022
R.A.F.	20%	5.742	13.553	1.375	3.255	2.497
	60%	9.639	2.078	3.037	4.766	4.351
	100%	6.120	6.114	4.500	3.107	2.202
Est.	20%	0.837	1.020	1.924	0.927	0.012
	60%	0.860	1.140	1.150	0.663	0.900
	100%	0.900	1.122	0.860	0.894	0.072
C.R.A.	20%	2.230	2.032	0.262	2.193	0.868
	60%	1.797	1.003	2.443	1.346	0.007
	100%	2.238	2.032	0.262	2.193	0.868
PHIDRI.	20%	2.624	0.692	1.969	1.319	0.675
	60%	0.626	0.356	0.469	0.504	0.250
	100%	0.725	0.601	0.407	0.222	0.409
Tr.	20%	4.705	14.876	5.938	17.234	5.372
	60%	0.657	12.741	6.256	10.317	4.445
	100%	2.039	4.620	5.739	7.684	5.903
D.T.	20%	0.037	0.042	0.031	0.032	0.032
	60%	0.032	0.075	0.046	0.023	0.032
	100%	0.039	0.041	0.033	0.026	0.011

CUADRO DE ERRORES STANDARD DE LAS MEDIAS PARA CADA VARIABLE EVALUADA

PORCENTAJE DE UNIDADES Y VARIABLES EVALUADAS		TIEMPO DE EVALUACION ( DIAS )				
		50	60	70	80	90
Vr.	20%	2.915	6.074	3.000	2.739	3.391
	60%	3.544	11.592	4.637	4.472	2.915
	100%	4.000	7.746	8.456	5.244	1.225
P.S.H.	20%	0.476	0.556	0.469	0.706	0.673
	60%	0.541	1.299	1.013	0.702	0.486
	100%	0.478	0.637	1.038	0.879	0.157
P.S.Ya.	20%	0.362	0.527	0.512	0.856	0.670
	60%	0.541	0.965	0.943	1.210	1.302
	100%	0.234	0.663	1.259	1.251	0.348
P.S.R.	20%	0.323	1.684	0.619	0.391	0.720
	60%	0.432	2.330	1.210	0.432	0.614
	100%	0.650	2.105	1.354	0.053	0.392
P.S.T.	20%	1.142	2.659	1.426	1.731	0.904
	60%	0.994	4.437	3.153	1.833	1.828
	100%	1.124	3.175	3.572	2.798	0.580
U/R.	20%	0.201	0.156	0.111	0.527	0.068
	60%	0.385	0.117	0.089	0.144	0.044
	100%	0.324	0.106	0.171	0.103	0.040

# DIAGRAMA DE FLUJO PARA METODOLOGIA





## ACLARACIONES SOBRE LOS ERRORES STANDARD DE LAS GRAFICAS

1. Cada gráfica muestra su error standard en los diferentes tiempos de evaluación.
2. Existen algunos puntos en los cuales no se marca el error standard, ello se debe a:
  - i). La sobreposición de los diferentes tratamientos en un tiempo de evaluación.
  - ii). Valor muy pequeño del error standard que por la escala utilizada no puede ser graficado.
  - iii). La combinación de las razones anteriores.