

INFLUENCIA DE LA SEQUIA FISIOLÓGICA EN EL
DESARROLLO Y NUTRICIÓN DE GENOTIPOS
CONTRASTADOS DE CACAO

Tesis de Grado
de
MAGISTER SCIENTIAE

Jaime Vera Barahona



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Febrero, 1974

INFLUENCIA DE LA SEQUIA FISIOLÓGICA EN EL DESARROLLO
Y NUTRICION DE GENOTIPOS CONTRASTADOS DE CACAO

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de
Magister Scientiae

en el

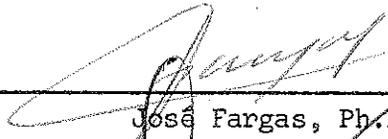
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



Jorge Soria, Ph.D.

Consejero



José Fargas, Ph.D.

Comité



Antonio Pinchinat, Ph.D.

Comité



Gilberto Pérez, Ph.D.

Comité

Febrero 1974

DEDICATORIA

A mi madre Amadita

A mi esposa Blanca Inés

A mis hijas Sylvia Brizeida y

Ximena Roxana

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su sincero agradecimiento:

- Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) del Ecuador por haberle facilitado la beca, para la realización de los estudios de postgrado.
- Al Dr. Jorge Soria Vasco, Consejero Principal y Jefe del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, bajo cuya dirección se llevó a cabo el presente trabajo. En especial al Dr. José Fargas A., miembro del comité, por sus invalorable sugerencias, en la realización del presente estudio.
- A los demás miembros del comité, Doctores Antonio Pinchinat y Gilberto Páez, quienes aportaron su experiencia en la elaboración de este trabajo.
- A los compañeros de estudios y demás miembros del personal del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, que en una u otra manera le prestaron su gentil ayuda durante su permanencia en el Centro.
- Al personal de ayudantes del Departamento de Cacao y del Laboratorio de Fisiología del IICA, especialmente al señor Joaquín Salazar, por su asesoría y ayuda en la conducción de los trabajos de invernadero y análisis químico realizados.
- Al personal de Estadística y Computación del IICA y Biblioteca del IICA-CIDIA.

BIOGRAFIA

El autor nació en la Parroquia Victoria, Provincia del Guayas, República del Ecuador, el 26 de marzo de 1941.

Inició sus estudios primarios en la Parroquia Victoria y secundarios en el Colegio Municipal Nocturno César Borja Lavayen. Se graduó de Bachiller en el Colegio Nacional Vicente Rocafuerte de Guayaquil, en el año de 1961.

En el año de 1962 ingresó a la Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Guayaquil, de la cual egresó en Enero de 1966.

En el año de 1969 ingresó a la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) del Ecuador, por una beca concedida por la American Cacao Research Institute (ACRI) y el INIAP, para realizar tesis de grado.

En Enero de 1970 se graduó de Ingeniero Agrónomo, habiendo ingresado al Programa de Cacao y Café de la Estación Experimental antes indicada, en calidad de asistente.

En Setiembre del año antes mencionado participó en el Primer Curso Internacional de Cacao, realizado por el Convenio IICA-CEPLAC, en Itabuna, Estado de Bahía, Brasil, por una beca concedida por el IICA.

En Octubre de 1971 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, obteniendo el grado de Magister Scientiae en Febrero de 1974.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Caracteres relacionados con la producción ...	3
2.2 Influencia del genotipo sobre el crecimiento en soluciones nutritivas y la producción	4
3. MATERIALES Y METODOS	8
3.1 Localización del experimento	8
3.2 Condiciones climáticas dentro del invernadero	8
3.3 Material vegetal empleado	8
3.4 Establecimiento del experimento	10
3.4.1 Germinación	10
3.4.2 Período de aclimatación	10
3.4.3 Transplante a recipientes definitivos	10
3.5 Diseño experimental	11
3.5.1 Tratamientos	12
3.5.2 Inducción de la tensión osmótica	12
3.6 Variables físicas y fisiológicas medidas	14
3.6.1 Determinación del área foliar	14
3.6.2 Medidas de las plantas	14
3.6.3 Volumen de raíces	14
3.6.4 Peso seco de las plantas	15
3.6.5 Número de plantas muertas y hojas caídas	15
3.6.6 Absorción de agua	15
3.7 Absorción de nutrimentos	16
3.7.1 Determinación del nitrógeno	17
3.7.2 Determinación del fósforo	17
3.7.3 Determinación de potasio, calcio y magnesio	17
3.7.4 Determinación de sodio y azufre en los tejidos	17
3.8 Modelo de análisis estadístico	18

4.	RESULTADOS	20
4.1	Condiciones ambientales dentro del invernadero	20
4.2	Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre los componentes del crecimiento	20
4.2.1	Area foliar	20
4.2.2	Altura y diámetro del tallo	20
4.2.3	Volumen de raíces	22
4.2.4	Peso seco de las hojas	26
4.2.5	Peso seco del tallo	28
4.2.6	Peso seco de raíces	30
4.2.7	Número de plantas muertas y hojas caídas	31
4.3	Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre la absorción de agua e iones	33
4.3.1	Absorción de agua	33
4.3.2	Absorción de nitrógeno total	36
4.3.3	Absorción de fósforo	36
4.3.4	Absorción de potasio	38
4.3.5	Absorción de calcio	39
4.3.6	Absorción de magnesio	39
4.4	Efecto de los tratamientos en el contenido de azufre y sodio en hojas y tallos	41
4.4.1	Contenido de azufre en hojas y tallos	41
4.4.2	Contenido de sodio en hojas y tallos .	44
4.5	Correlaciones entre las variables estudiadas	47
5.	DISCUSION	49
5.1	Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre los componentes del crecimiento	49
5.2	Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre la absorción de iones	51
5.2.1	Influencia de las tensiones osmóticas en la absorción de iones N, P, K, Ca y Mg	51

5.2.2	Absorción de iones por los cultivares	53
5.2.3	Contenido de azufre y sodio en hojas y tallos	55
5.2.4	Tasas de incremento de todas las variables estudiadas	56
5.2.5	Reacción de las plantas al Na_2SO_4	58
6.	CONCLUSIONES	60
7.	RESUMEN	61
7a.	SUMMARY	64
8.	LITERATURA CITADA	66
9.	APENDICE	71

LISTA DE CUADROS

<u>TEXTO</u>	<u>Página</u>
Cuadro N°	
1 Rendimiento de cacao seco de cuatro cultivares de cacao	9
2 Promedios observados y tasa lineal para el volumen de raíces (ml) y peso seco de hojas (g), en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía	25
3 Promedios observados y tasa lineal para el peso seco (g) de tallos y raíces, en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía	29
4 Porcentaje de hojas caídas de plantas muertas de cultivares de cacao sometidos a cuatro regímenes de sequía artificial	32
5 Valores promedios de absorción de agua (ml/pl) y nitrógeno (mg/pl) de la solución nutritiva y tasa lineal en cuatro cultivares contrastados de cacao bajo cuatro condiciones de sequía	34
6 Valores promedios de absorción de fósforo y potasio (mg/pl) de la solución nutritiva y tasa lineal de tensión (bares), en cuatro cultivares de cacao	37
7 Valores promedios de absorción (mg/pl) de calcio y magnesio de la solución nutritiva, tasa lineal, en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía	40
8 Análisis de contenido promedio de azufre (%) y tasa lineal en hojas y tallos de cuatro plantas por tratamiento por cultivar, a los cuatro meses de edad	42
9 Análisis del contenido promedio de azufre (%) y tasa lineal en hojas y tallos de cuatro plantas por tratamiento, a los cuatro meses de edad	45

Cuadro N°		<u>Página</u>
10	Matriz de correlación entre las variables estudiadas en los cultivares de cacao	48

APENDICE

1	Cuadrados medios y prueba de F de la tasa de incremento para el área foliar (cm ²), altura (cm) y diámetro del tallo	72
2	Cuadrados medios de los valores observados para volumen de raíces (ml), peso seco (g) de hojas, tallos y raíces; absorción de agua (ml/pl) en cuatro cultivares de cacao bajo cuatro tensiones osmóticas	73
3	Cuadrados medios para la absorción de N, P, K, Ca y Mg (mg/pl) en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía	74
4	Cuadrados medios del contenido de azufre y sodio (%) en hojas y tallos de cuatro plantas por tratamiento y por cultivar	75
5	Porcentaje (%) medio del contenido de azufre y sodio en hojas y tallos de plantas testigos y tratadas	75
6	Datos basados en la suma algebraica de la absorción (mg/pl) de nitrógeno y fósforo (3 muestras) de la solución nutritiva en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía	76
7	Datos basados en la suma algebraica para la absorción (mg/pl) de potasio y calcio (3 muestras) de la solución nutritiva en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía	77
8	Datos basados en la suma algebraica para la absorción (mg/pl) de magnesio de la solución nutritiva en cuatro descendencias de cacao bajo condiciones de sequía	78

LISTA DE FIGURAS

<u>TEXTO</u>	<u>Página</u>
Figura N°	
1 Variación del área foliar en plantas de cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía, en relación con la edad	21
2 Variación de la altura del tallo en plantas de cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía en relación con la edad	23
3 Variación del diámetro del tallo en plantas de cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía en relación con la edad	24
 <u>APENDICE</u>	
1 Curva de tensiones osmóticas correspondientes a diferentes concentraciones de Na ₂ SO ₄ , en solución Hoagland N° 2	79
2 Curva de área foliar en función del largo de la hoja en cuatro cultivares de cacao	79
3 Curva del volumen de raíces en cuatro cultivares de cacao, bajo condiciones de sequía	80
4 Curvas del peso seco de las hojas en cuatro cultivares de cacao, bajo condiciones de sequía	80
5 Curvas del peso seco del tallo en cuatro cultivares de cacao, bajo condiciones de sequía	81
6 Curva del peso seco de raíces en cuatro cultivares de cacao, bajo condiciones de sequía	81
7 Curvas de absorción de agua en cuatro cultivares de cacao, bajo condiciones de sequía	82
8 Representación gráfica de promedios obtenidos de cinco plantas por tratamiento (tensiones osmóticas) de varias características observadas en cuatro cultivares de cacao	83

1. INTRODUCCION

En el proceso de obtener cultivares superiores de cacao para altos rendimientos, resistencias a las principales enfermedades o plagas, se ha usado los métodos de selección de plantas individuales para propagación vegetativa y la hibridación para producir familias sexuales que combinan las características deseadas. Sin embargo, para la evaluación final de cualquier tipo de material con fines de mejoramiento, se requiere de áreas grandes de terreno y de períodos de observación más o menos prolongados, lo cual envuelve altos costos de investigación.

Por ser el cacao una especie perenne, sería de gran utilidad desarrollar un método rápido y eficiente que permita separar a temprana edad, plantas de alta capacidad productiva. Actualmente se conoce que existe una estrecha relación entre las medidas del diámetro del tallo efectuada a temprana edad y producción futura. También se cuenta con estudios realizados con varias especies mantenidas creciendo en medios hidropónicos que han puesto de manifiesto que es posible evaluar prematuramente el carácter de alta productividad, según la respuesta de los diferentes genotipos al aumento de la cantidad de sales nutritivas. No obstante, poca información existe acerca de la respuesta, que podrían tener genotipos de cacao con distinta capacidad de producción conocida al aumento de las tensiones hídricas producidas por ciertos productos químicos y no por el aumento de la cantidad de sales en la solución nutritiva.

Usando el Na_2SO_4 , se estudió el aumento de la tensión osmótica del medio nutritivo, y de esta forma ampliar la información sobre la

capacidad de absorción de los diferentes nutrimentos, se planeó el presente trabajo que tiene como objetivos principales:

1. Estudiar la reacción a la sequía fisiológica, en cultivares contrastados en producción, como ayuda a desarrollar métodos de selección temprana en cacao.
2. Determinar diferencias en los hábitos de nutrición en los mismos cultivares de cacao.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Caracteres relacionados con la producción

El hecho de que el cacao (Theobroma cacao L.) sea una especie perenne, constituye una de las principales limitaciones en el avance rápido de los Programas de Fitomejoramiento, especialmente para la selección del carácter alto rendimiento. (En algunos países productores de América tropical como Trinidad (9), Costa Rica (46), Brasil (50), Ecuador (19) y de Africa Occidental (25), se han venido llevando a cabo importantes ensayos de clones o híbridos en condiciones de campo, pero el período de observación a que se somete el material en estudio es bastante largo.) De acuerdo con lo reportado por Soria y Esquivel (45), se necesita de 1 a 3 años de observaciones en plantaciones que sobrepasen a los 5 años de edad. Esto fue comprobado también por Quiroga (42) y Oyebade (40).

Las medidas de las distintas características de la planta joven asociadas con la futura producción fueron reportadas por Rusell (44), Glendinning (24), Mariano (35) y Ascenso (5), al estudiar la relación entre la precosidad, crecimiento y producción en el cacao. Estos autores encontraron correlaciones altas y significativas entre el diámetro del tallo y la producción, lo que fue posteriormente respaldado por los estudios llevados a cabo por Soria y Esquivel (47), Ngatchou y Latode (39).

Recientemente García (22) informó que el peso seco de las semillas, altura, diámetro, número de hojas, peso seco y área foliar constituyen parámetros confiables para juzgar el vigor en plantas jóvenes de cacao.

2.2 Influencia del genotipo sobre el crecimiento en soluciones nutritivas y la producción

El estudio de la influencia del genotipo sobre el crecimiento y la producción del cacao y otras plantas tropicales mantenidos en solución nutritiva ha recibido poca atención, según se refleja en la escasa literatura disponible. Conn y Stumpf, citados por Jiménez (30), indican que la actividad fisiológica de la planta está sujeta al control que sobre su metabolismo ejerce el genotipo de la misma.

Rodríguez y colaboradores (43) encontraron que plantas de semillas de polinización abierta del clon 'UF-650' de tres años de edad, adaptadas a crecer desde muy temprano en solución nutritiva Hoagland N° 2, tuvieron una mayor absorción de nitratos, durante la formación y emisión de nuevas hojas.

La posibilidad de obtener un método de laboratorio para evaluar la producción económica en forma prematura en plántulas de café, fue probada por Gutiérrez (26). Utilizó 12 plántulas de ocho variedades, de unos seis meses de edad, adaptadas previamente en solución nutritiva diluida de Hoagland y Arnon N° 2. Clasificó arbitrariamente las plantas en grupos de alto y bajo rendimiento. Después de 67 días encontró que los pesos frescos de las plantas de alta producción tuvieron un incremento relativo promedio de 55,3 por ciento, en comparación con 28,6 por ciento para las variedades de baja producción. Asimismo, al estudiar la capacidad de utilización de los nutrimentos minerales mediante el decremento por unidad de peso fresco inicial, del contenido de N, P, Ca y Mg de la solución nutritiva, encontró que las variedades de alto rendimiento

eran capaces de absorber más nitrógeno por unidad de peso que las de menor rendimiento, con diferencias estadísticas al 5 por ciento de probabilidad.

Amorin et al (3) estudiaron la influencia de diferentes niveles de N, P y K sobre el crecimiento de plantas de cacao joven en solución nutritiva y reportaron que el N tuvo un efecto significativo sobre la altura y peso seco de la planta. También notaron que la producción de materia seca crece linealmente cuando hay aumento en el contenido de N en las hojas, pero que no ocurre lo mismo cuando hay aumento en el contenido de P o K.

Jiménez (29) estudió el comportamiento de plantas jóvenes de cacao en soluciones nutritivas de diferente composición cuantitativa. Utilizó plantas de polinización abierta del clon 'UF-667' y del híbrido 'Matina x Pentagona', de baja y alta producción potencial respectivamente. Observó que conforme avanzó la edad, las plantas del cruce 'Matina x Pentagona' se desarrollaron mejor en medios mucho más concentrados de sales que los del cultivar 'UF-667'.

Nunes (38) evaluó la resistencia a la sequía con varios tipos de cacao en la Isla de Santo Tomé. Mantuvo las plantas en vasos que contenían suelo arcilloso, con valores de porcentaje de humedad entre 41 por ciento ($pF = 2,0$) y 24 por ciento ($pF = 4,2$). La variedad local Amelonado vermelho (AV) manifestó más elevada resistencia a la sequía que los tipos Laranja-amarelo (LA). Según Alvim y Grangier (2) las diferencias en el crecimiento del área foliar y longevidad de la hoja en cacao son factores estrechamente relacionados con el genotipo que determina

la productividad.

En 1967, Jiménez (30) estudió, bajo condiciones de invernadero, la influencia que podría tener el genotipo de la producción potencial sobre la tolerancia del cacao al exceso de sales, a partir de plantas de seis semanas de edad, cultivadas en solución nutritiva Hoagland N° 2. Empleó dos regímenes nutritivos diferentes:

Régimen I : 1/3 Hoagland por dos meses _____

—————> 6x Hoagland por dos meses más

Régimen II : 3x Hoagland por dos meses _____

—————> 6x Hoagland por dos meses más

El mayor número de muertes por intoxicación, en las descendencias de polinización libre de los cultivares 'UF-221' y 'UF-676' considerados de baja capacidad productiva, indujeron al autor a pensar que posiblemente su baja actividad metabólica les impidió producir suficientes tejidos que actuaran como 'disolventes' de los iones absorbidos en exceso.

También se estudió la absorción y utilización del nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, bajo los mismos regímenes, y observó que los cultivares de menor rendimiento absorbieron menos nitrógeno, calcio y magnesio que los de alta productividad, tanto en el Régimen I como en el Régimen II. Reportó también que los índices de asimilación para N, Ca y Mg en los dos regímenes fue menor en los cultivares de baja producción, mientras que la absorción de P fue igual en todos los cultivares cuando permanecieron en el Régimen I. Notó además que las plantas de baja productividad removieron 36 por ciento menos P que las de mayor productividad bajo el segundo régimen.

En Ghana, Asomaning y Kwakwa (7), estudiaron los requerimientos de potasio en plantas jóvenes de cacao de las variedades Amelonado y Nanay (Amazónico). Las plantas fueron cultivadas en arena y bajo condiciones de invernadero; reportaron que las necesidades de este nutrimento son completamente diferentes en los tipos de cacao utilizados.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El trabajo experimental fue conducido en el invernadero y laboratorio de la Unidad de Ecofisiología del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA, situado en Turrialba, Costa Rica, a una altitud de 602 msnm a 9°53' latitud norte y 83°39' longitud occidental. De acuerdo al sistema de vida de Holdridge, citado por Chavez (16), se encuentra clasificada como zona ecológica de bosque húmedo tropical premontano, con medias anuales de precipitación y temperatura de 2600 mm y 25,5°C, respectivamente.

3.2 Condiciones climáticas dentro del invernadero

Para establecer las características microclimáticas dentro del invernadero, durante la época en que se realizó el experimento, se instalaron instrumentos apropiados. Los factores observados fueron la temperatura (°C), humedad relativa, mediante los registros diarios de termógrafo e higrógrafo respectivamente, y radiación solar por medio de un actinómetro de alcohol de lectura directa, cuyos valores fueron transformados a Cal/cm²/día.

3.3 Material vegetal empleado

Se utilizaron semillas de cacao provenientes de mazorcas híbridas de genotipos contrastantes en cuanto a productividad. Entre los cruces interclonales considerados de alta producción se utilizaron el 'Pound-12 x Catongo' y su recíproco 'Catongo x Pound-12', cuyas mazorcas híbridas fueron obtenidas por polinización controlada en la colección de clones

del IICA. Además, se utilizaron semillas de mazorcas de polinización libre de los cultivares 'UF-221' y de la variedad local conocida como 'Matina', cosechadas en la Finca Experimental La Lola, localizada en el litoral Atlántico de Costa Rica. Estas últimas descendencias se consideraron como de baja productividad, de acuerdo con los resultados obtenidos por el Programa de Fitomejoramiento genético de cacao del IICA (46), cuya producción y la de los híbridos de alta producción se resumen en el cuadro siguiente.

Cuadro 1. Rendimiento de cacao seco de cuatro cultivares de cacao.

Cultivares	1962/63	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67	Rendimiento (kg/ha)
'Pound-12 x Catongo'				1222,83	2654,53	1934,18 *
'Catongo x Pound-12'				952,17	2150,01	1551,09 *
'UF-221' pol. lib.	67,69	197,86	825,54	588,21	695,67	474,99 **
'Matina'	49,75	118,63	440,01	434,06	535,56	315,60 **

* Datos de 18 árboles del Experimento La Lola N°18 sembrado en 1963, 2x2 m.

** Datos de 16 árboles del Experimento La Lola N°11 sembrado en 1959, 3x3 m.

3.4 Establecimiento del experimento

3.4.1 Germinación

A las almendras de cada fruto se les eliminó la testa y fueron puestas a germinar sembradas a una distancia de 8 x8 cm (20), en cajas de madera con aserrín vegetal de 1,20 m de largo, 0,80 m de ancho y 0,15 m de altura. Cada caja fue protegida con pintura asfáltica color negro y se hicieron un buen número de perforaciones en el fondo para facilitar el drenaje. Las plántulas germinadas permanecieron en estas condiciones por un mes, hasta que las mismas tuvieron altura promedio de 15 cm.

3.4.2 Período de aclimatación

El período de aclimatación comprendió el tiempo transcurrido desde que las plantas fueron trasladadas al medio hidropónico, hasta que mostraron algunas características visibles de normal actividad fisiológica, tales como el desarrollo del sistema radicular, emisión de hojas nuevas, y mayor consumo de agua.

3.4.3 Transplante a recipientes definitivos

En esta etapa se desecharon aquellas plántulas que mostraron menos altura, deformación en la raíz pivotante o que hubieran sufrido alguna lesión de las raíces al momento del trasplante, operación que se la efectuó con la ayuda de una espátula. Una vez extraídas las plantas, sus raíces fueron lavadas cuidadosamente bajo la caída moderada del agua de una llave, a fin de eliminar el aserrín vegetal adherido a las mismas. En esta misma fecha se realizó el traslado de cada planta a

unos baldes de material plástico de cinco litros de capacidad que contenían 4,5 litros de la solución Hoagland Nº 2 (27) diluida.

Los recipientes pintados exteriormente con pintura de aluminio, se colocaron en grupos de 20 sobre mesas de madera, quedando ubicadas las plantas de esta manera a una distancia promedio de 0,63 x 0,25 m entre sí.

A cada balde se adaptó una cubierta circular de madera, dividida en dos secciones desiguales, en la que un tercio de esta sección se encontraba sujeta al borde del recipiente, mientras la otra sección (los dos tercios) permaneció móvil para facilitar la observación de la aereación de la solución y el mantenimiento de nivel del medio hidropónico.

Para sostener las plantas en cada recipiente se colocó un soporte de madera en forma de L fijado a la sección más pequeña de la tapa. Cerca del extremo superior del soporte se adaptó un gancho de acero inoxidable, por cuya curvatura se sujetó a la planta por el tallo, previo un enrollamiento a éste de una banda rectangular de material inerte de espuma de hule.

La aereación dentro de la solución fue permanente y se realizó mediante capilares conectados a tuberías que provenían de un compresor, haciendo pasar el aire por trampas de agua para su depuración.

Para la preparación de la solución nutritiva y la reposición del agua gastada por la planta se utilizó agua de lluvia.

3.5 Diseño experimental

Se cultivaron 80 plantas (20 de cada Fl) individualmente en los recipientes plásticos debidamente condicionados y distribuidos sobre las

mesas del invernadero de acuerdo con un diseño irrestrictamente al azar, con cinco repeticiones.

3.5.1 Tratamientos

El arreglo de los tratamientos fue un factorial 4×4 (4 = híbridos, 4 = niveles de tensión osmótica).

Los tratamientos consistieron en someter a las plantas de cada Fl a 0,70; 2,80; 4,90 y 7,00 bares. Los tratamientos se aplicaron paulatimamente siguiendo el programa que se describe a continuación:

T1 = Tratamiento testigo con tensión osmótica (TO) continua de 0,7 bares durante todo el transcurso del experimento;

T2 = Tratamiento de 2,80 bares que se alcanzaron en un lapso de 15 días a partir de la finalización del período de aclimatación y mantenido mientras duró el experimento;

T3 = Tratamiento de 4,90 bares que se lograron en un período de 15 días a partir de la terminación del período de aclimatación, mantenido constante durante el experimento;

T4 = Tratamiento de 7,0 bares que fueron obtenidos después de 15 días en que finalizó el período de aclimatación mantenido en forma constante hasta la muerte o cosecha de las plantas.

3.5.2 Inducción de la tensión osmótica

El aumento de la tensión osmótica en la solución nutritiva se inició en forma gradual para los tratamientos T2, T3 y T4 cuando las plantas se habían adaptado al medio hídrico.

La sustancia empleada para este fin fue el sulfato de sodio anhidro (10, 23, 36), y que con el propósito de que las plantas se

adaptaran en forma progresiva al aumento de la tensión osmótica en la solución en contacto con las raíces y evitar la muerte por aumento brusco de tensión y salinidad; el sulfato de sodio se agregó en tres fracciones dentro de un lapso de 15 días.

Para establecer la cantidad de sulfato de sodio necesaria en los tratamientos estudiados fue necesario establecer una curva patrón obtenida agregando pesos (gramos) conocidos de sal en varios volúmenes de solución Hoagland N° 2 a concentración normal. De cada volumen conocido se tomó una muestra que sirvió para medir la conductividad eléctrica (CE) en micromhos cm^{-1} mediante el empleo del puente de conductividad YSI modelo 31, cuyo valor se transformó en bares, multiplicándolo por 0,00036. Estos nuevos valores obtenidos y que presentaron una tendencia lineal (Cuadro 1 del Apéndice) fueron graficados en un eje de coordenadas, de cuya relación se obtuvo la cantidad de Na_2SO_4 requerido para obtener las tensiones deseadas. De esta manera se necesitaron 22,0; 50,4 y 72,4 gramos de sal para alcanzar ($\pm 0,5$) 2,80; 4,90 y 7,00 bares en 4,5 litros de solución Hoagland N° 2, respectivamente.

Una vez iniciado el experimento la verificación de la tensión osmótica requerida para cada tratamiento, fue realizada mediante muestras tomadas después que se repuso el agua absorbida por las plantas, haciendo uso del mismo puente de conductividad.

3.6 Variables físicas y fisiológicas medidas

Las variables medidas de acuerdo con la fecha de observación fueron las siguientes:

3.6.1 Determinación del área foliar

Para determinar el crecimiento del área foliar se siguió el procedimiento descrito por Asomaning (6) algo modificado. Se midió el largo de 40 hojas de diferentes tamaños en plantas de 45 días de edad cultivadas en macetas, bajo condiciones relativamente uniformes de invernadero. La función matemática empleada para expresar el área fue: $Y = b_0 X^{b_1}$, habiéndose obtenido una función para cada cultivar (Figura 2 del Apéndice), en cuyas ecuaciones se reemplazó el largo de cada hoja (medidas cada 15 días), para estimar el área foliar total.

3.6.2 Medidas de las plantas

La medida del diámetro del tallo se midió cada 15 días con un calibrador en un mismo sitio en la parte inferior del tallo, para lo cual se marcó el lugar con una señal de pintura.

La altura del tallo se tomó con una regla graduada también cada 15 días, desde la cicatriz dejada por los cotiledones hasta la parte apical (30).

3.6.3 Volumen de raíces

Para determinar el volumen de raíces se adoptó el procedimiento descrito por Armenta (4) basado en el principio de desplazamiento de volumen de la siguiente manera:

- a. Corte de la raíz a la altura del cuello de la planta;

- b. Suspensión de la raíz en un gancho por aproximadamente 20 minutos para facilitar el escurrimiento de agua externa;
- c. Colocación de la raíz en una probeta graduada que contenía un volumen conocido de agua y lectura del volumen desplazado.

3.6.4 Peso seco de las plantas

El valor del peso seco de las plantas se obtuvo individualmente para hojas, tallos y raíces, después de puestas a secar en estufa a 70°C hasta peso constante. El peso seco de hojas, tallos y raíces producido en los diferentes híbridos sometidos a las diferentes condiciones descritas de sequía, fueron analizados en forma independiente.

3.6.5 Número de plantas muertas y hojas caídas

Una característica muy notable fue la caída prematura de hojas y las plantas muertas por la sequía fisiológica al finalizar el experimento, lo cual se expresa en forma de porcentaje total.

3.6.6 Absorción de agua

El volumen de agua absorbida por las plantas fue medido y repuesto de acuerdo con las necesidades de las mismas, por medio de probetas graduadas. Esta operación se efectuó cada siete días durante la etapa inicial de aclimatación y posteriormente, durante el período en que el proceso adquirió mayor importancia, cada 2 ó 3 días, es decir, desde el comienzo de la aplicación de los tratamientos hasta la etapa final del experimento.

Con la reposición de agua a intervalos cortos también se evitó las oscilaciones de las tensiones osmóticas a causa de la pérdida de agua del recipiente por absorción de las plantas, evaporación normal o la ocasionada por el burbujeo del aire proveniente de los capilares. Para medir la cantidad neta de agua absorbida por las plantas, por cada tratamiento fue colocado un balde idéntico a los usados en los tratamientos pero desprovisto de planta, cuyo valor o cantidad obtenida de agua evaporada, fue restada de los demás tratamientos.

3.7 Absorción de nutrimentos

Los cambios de solución nutritiva y el cálculo de absorción de nutrimentos se efectuaron cada mes (26, 30). El cálculo se hizo por diferencia de consumo entre la muestra de la solución nutritiva original y la retirada al momento de hacer el cambio con la nueva solución. Al hacer estos cambios se tomaron muestras de aproximadamente 50 ml de cada una de las soluciones usadas y fresca. Las muestras fueron posteriormente analizadas en el contenido de N, P, K, Ca y Mg.

Para medir la absorción de los elementos incorporados en exceso (Na^+ y SO_4^{-2}) como componentes del compuesto químico para producir aumento de tensión osmótica, así como su distribución en las diferentes estructuras de la planta, se analizaron muestras de tejidos de hojas y tallos de cuatro plantas tratadas y de cuatro testigos. Las muestras se tomaron de las plantas cosechadas después que se dio por concluido el experimento.

3.7.1 Determinación del nitrógeno

La determinación del nitrógeno total se realizó por el método Micro-Kjeldhal, con modificaciones hechas por Müller (37).

3.7.2 Determinación del fósforo

En la determinación de este elemento se usó el método colorimétrico de Fiske-Subarrow, citado por Chapman y Pratt (15), usando HCl como agente acidificante.

3.7.3 Determinación de potasio, calcio y magnesio

Estas determinaciones fueron realizadas mediante las lecturas de un espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer 303, hechas con diluciones de las muestras de solución nutritiva que posteriormente fueron confrontadas contra una curva patrón para cada elemento.

3.7.4 Determinación de sodio y azufre en los tejidos

Las hojas y tallos, previamente secados en estufa, fueron molidos en un molino Willey con malla de 40 mesh. El polvo resultante fue conservado en frascos individuales hasta el momento de efectuar la digestión.

Para la determinación del sodio se utilizaron diluciones apropiadas de las muestras digeridas con ácido nítrico y perclórico. A continuación se analizaron en el espectrofotómetro en la misma forma indicada para el potasio, calcio y magnesio.

Para analizar el contenido de azufre, se utilizó la misma digestión efectuada para el sodio, empleándose el procedimiento de turbimetría, según el método de la AOAC (8).

3.8 Modelo de análisis estadístico

El estudio estadístico de los efectos de los tratamientos (T) o tensiones osmóticas sobre los cultivares (C) y la interacción de éstos, se realizó mediante un análisis de la variancia de los datos y la división de F dentro de los tratamientos con diferencias significativas mediante las pruebas de Duncan (48).

El modelo del análisis de variancia aplicado fue:

$$Y_{ijk} = u + T_i + C_j + (TH)_{ij} + E_{ijk}$$

en donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta

u = media general

T_i = efecto del tratamiento 'i'

C_j = cultivar 'j'

$(TH)_{ij}$ = interacción del tratamiento 'i' con el híbrido 'j'

E_{ijk} = error experimental del tratamiento 'i', el cultivar 'j' y la observación 'k'

El modelo de análisis del crecimiento para el área foliar, altura y diámetro de tallo, se utilizó las tasas logarítmicas de incremento, cuyas estimaciones reflejan la velocidad con que las variables (\hat{Y}) cambian, como función de la edad (X) (16, 41).

El modelo matemático empleado fue:

$$Y = b_0 X_i^{b_1}$$

donde:

Y = variable de respuesta (variable dependiente)

b_0 = estimado de Y cuando $X = 1$ (en unidades de medida de Y)

X_i = variable independiente (dosis de tensiones)

$b_1 = \frac{dY}{dX} = \frac{\bar{X}}{\bar{Y}}$ = tasa logarítmica de incremento (elasticidad)
de la respuesta

El grado de asociación entre las variables estudiadas se determinó por el análisis de correlación.

4. RESULTADOS

4.1 Condiciones ambientales dentro del invernadero

Entre las condiciones ambientales promedios del interior del invernadero y estrechamente relacionados con la actividad metabólica de la planta fueron los siguientes: temperatura máxima 35,2°C; temperatura mínima 18,8°C; radiación solar 161 cal/cm², y humedad relativa 68,0%.

4.2 Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre los componentes del crecimiento

4.2.1 Area foliar

El análisis de variancia para el crecimiento relativo del área foliar efectuado por medio de la tasa log. de crecimiento del área foliar, mostró diferencia significativa para híbridos y tensiones osmóticas, pero no se encontró significación para la interacción cultivos x tensiones osmóticas. En la Figura 1 se puede observar la representación gráfica de la ecuación de predicción, efectuada a través de los puntos estimados, corresponde a las tasas de crecimiento para el área foliar en función de la edad (16). Las representaciones gráficas para cada cultivar (F₁) sugiere que la variación absoluta en general fue decreciente, no obstante en el mismo gráfico es posible observar que el cruce 'Pound-12 x Catongo' tuvo una tasa ligeramente mayor que las demás F₁, teniendo la pendiente para este caso valores relativos más elevados.

4.2.2 Altura y diámetro del tallo

El crecimiento del tallo estimado mediante estimaciones periódicas

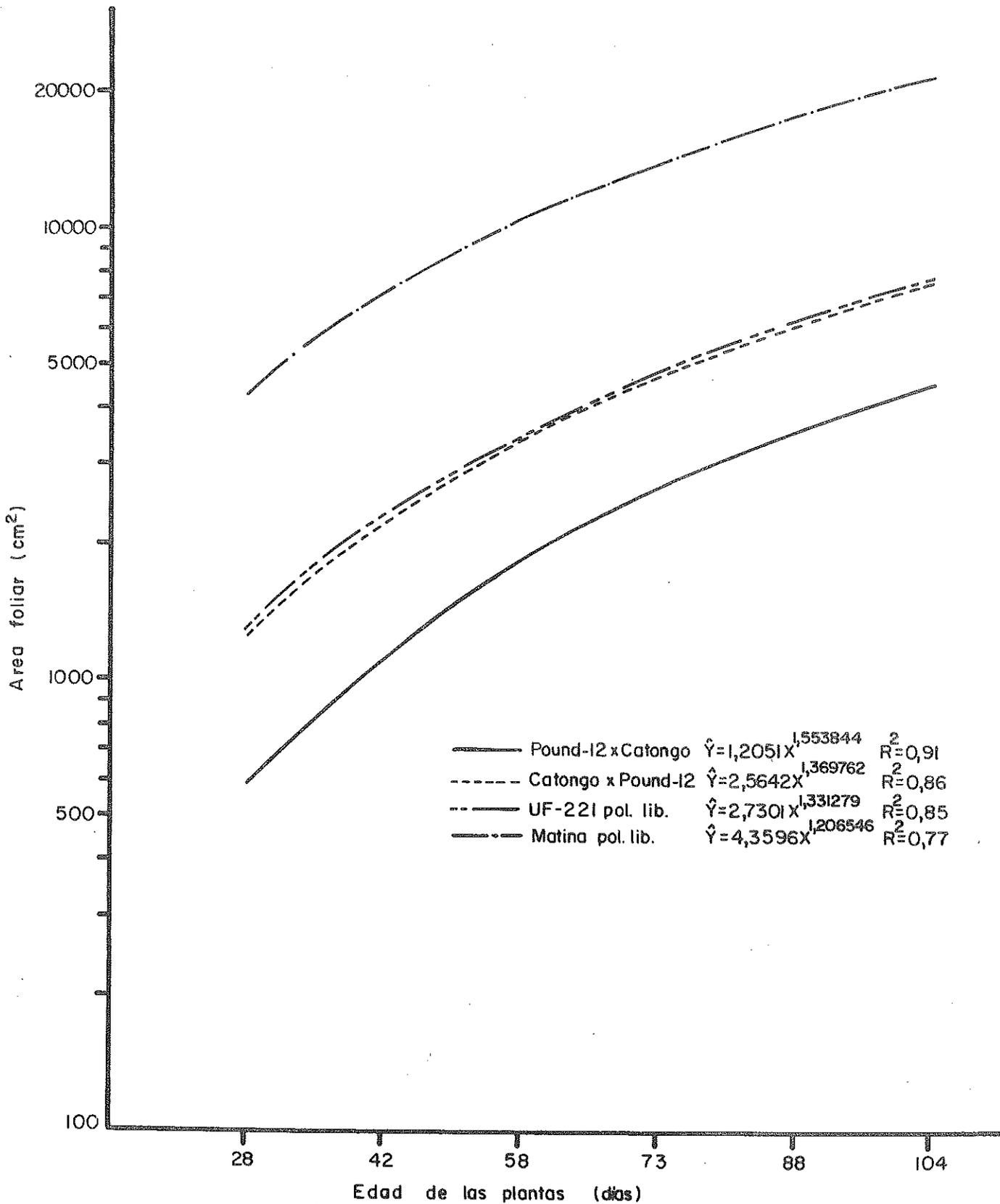


Fig. 1 Variación del área foliar total en plantas de cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía, en relación con la edad

de la altura y diámetro no tuvieron en general un incremento muy notable, conforme se aprecia en las Figuras 2 y 3. Esto se comprueba también por el análisis de variancia de la tasa de crecimiento (Cuadro 1 del Apéndice), que no mostró diferencia significativa para cultivares ni para la interacción cultivares x tensiones osmóticas. Sin embargo, fue significativamente diferente para los niveles de tensiones osmóticas.

4.2.3 Volumen de raíces

En el Cuadro 2 se presenta los volúmenes de raíces como resultado de la influencia de las cuatro tensiones osmóticas sobre el crecimiento del sistema radicular de los cuatro híbridos. Se puede observar un efecto negativo en el desarrollo de las raíces, caracterizado por ser inversamente proporcional al aumento de la inducción de la sequía. Las plantas del cruce 'Pound-12 x Catongo' presentaron valores más altos para volumen de raíces bajo las tensiones de 0,70; 2,80 y 4,90 bares en comparación con las plantas de las demás descendencias en estas mismas condiciones. También se encontró que a la máxima tensión (7,0 bares) las raíces de plantas del cultivar 'UF-221' de polinización libre, presentaron valores más altos que las del cruce 'Pound-12 x Catongo' bajo el mismo tratamiento.

Las tasas lineales (Cuadro 2) para el volumen de raíces (\hat{Y}) en función de las tensiones osmóticas (X), resultaron negativas, observándose que el cultivar 'Matina' tuvo un decremento menor ($b_1 = -2,52$) que los demás cruces interclonales.

El análisis de variancia del volumen de raíces (Cuadro 2 del

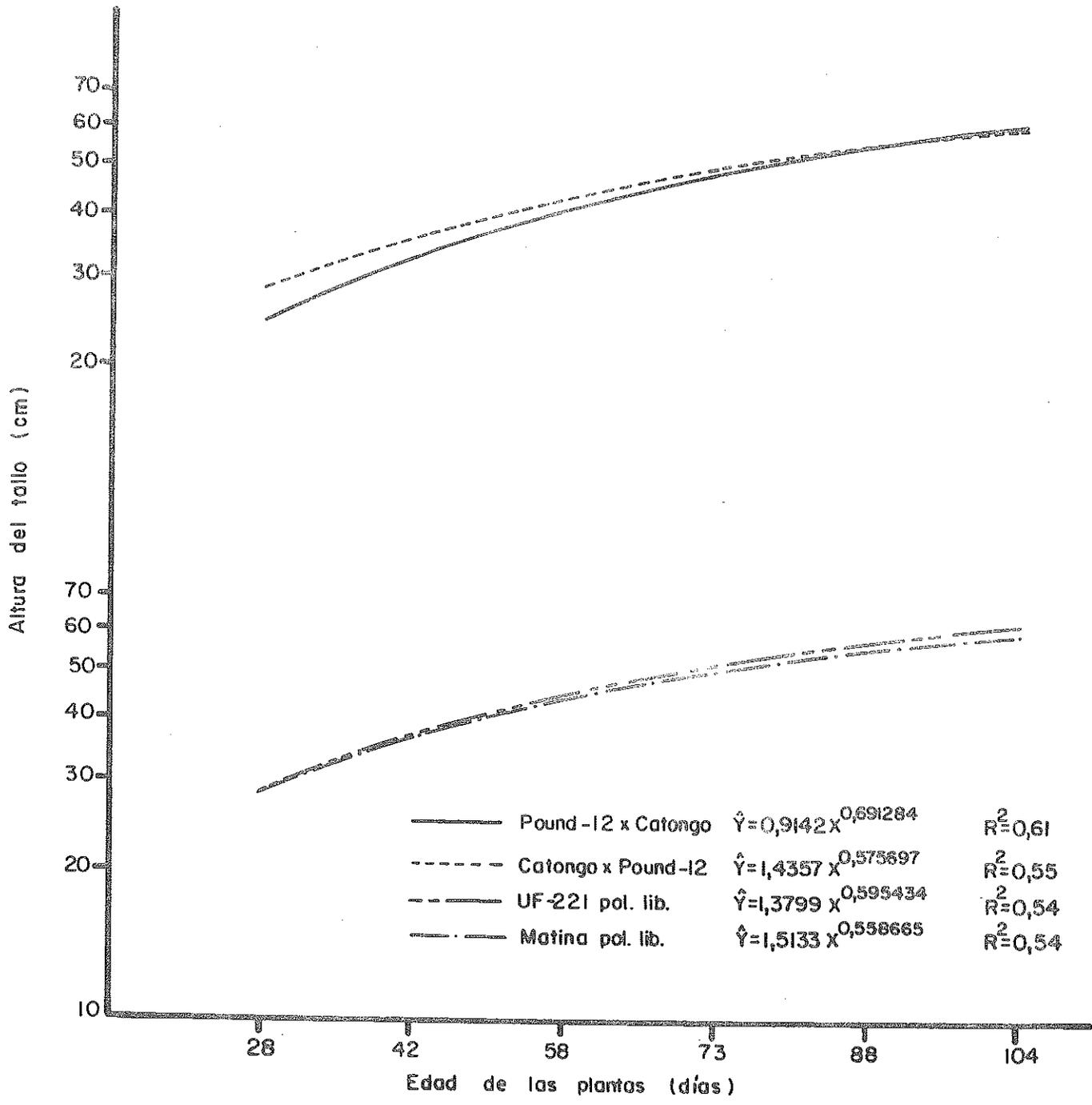


Fig. 2 Variación de la altura del tallo en plantas de cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía en relación con la edad

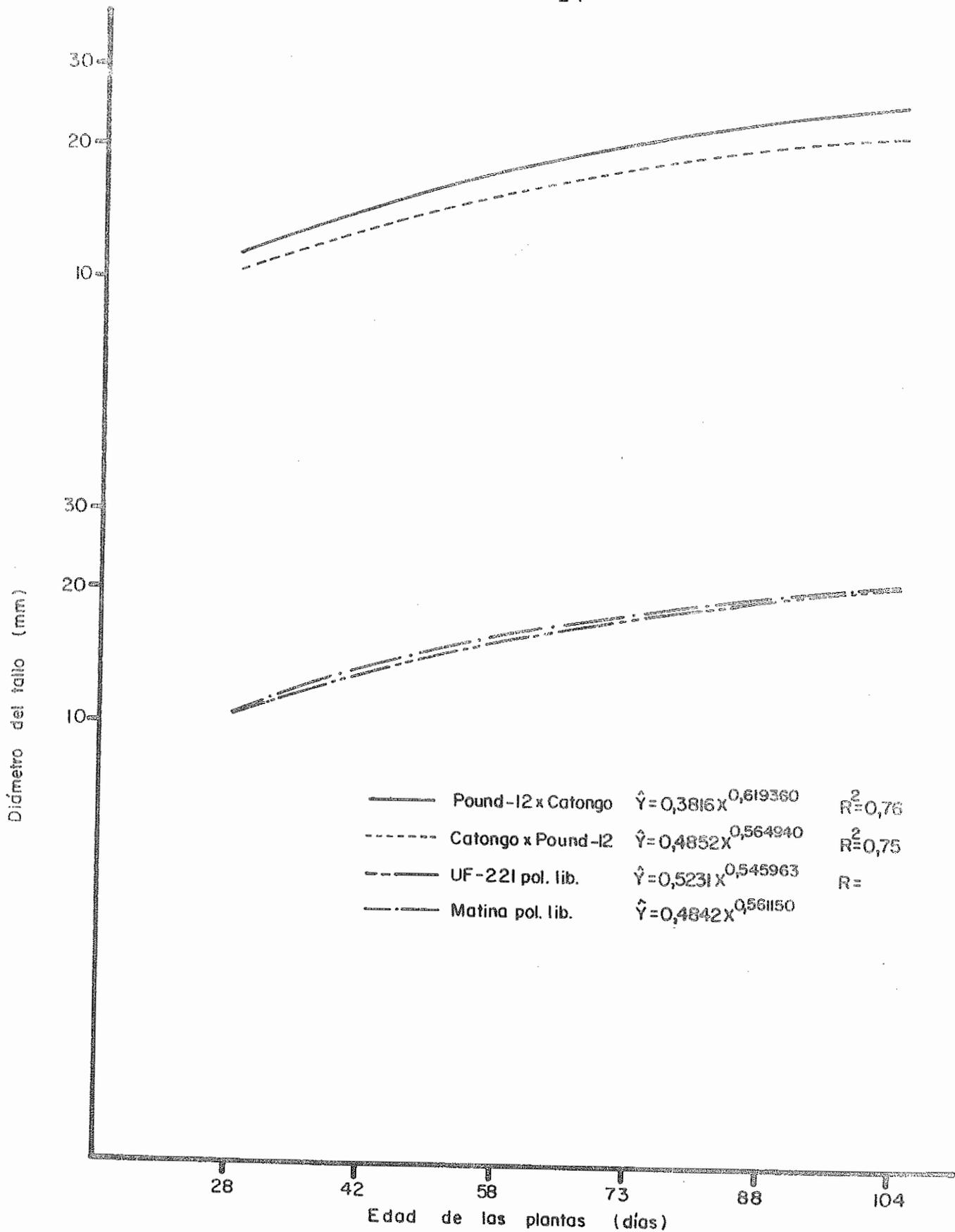


Fig. 3 Variación del diámetro del tallo en plantas de cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía en relación con la edad

Cuadro 2. Promedios observados y tasa lineal para el volumen de raíces (ml) y peso seco de hojas (g), en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía.

Cultivares	Volumen de raíces (ml)		\bar{X}	Tasa lineal (ml/bar)	Peso seco de hojas (g)		\bar{X}	Tasa lineal (g/bar)			
	Tratamientos (bares)	Tratamientos (bares)			Tratamientos (bares)	Tratamientos (bares)					
Pound-12 x	0,70 ⁺	2,80	4,90	7,00	\bar{X}	0,70 ⁺	2,80	4,90	7,0	\bar{X}	
Catongo (A)	56,20	38,00	21,80	16,40	33,10a	11,84	9,24	7,49	5,99	8,64a	-0,92
Catongo x	52,40	25,54	17,00	16,20	27,79b	11,47	7,56	4,40	3,19	6,66b	-1,33
Pound-12 (A)	44,40	24,40	19,80	18,20	26,70bc	9,85	6,47	4,85	4,32	6,37b	-0,87
UF-221 (pol. lib.) (B)	29,00	20,00	16,40	12,60	19,55d	9,34	5,81	3,41	3,42	5,50c	-0,96
Matina (pol. lib.) (B)	45,50	27,04	18,75	15,85		4,07	2,62	1,75	1,52		
Promedio											

A = Alta producción

B = Baja producción

+ Concentración osmótica normal (testigos) de la solución Hoagland No 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad según la prueba de Duncan.

Apéndice) arrojó diferencias significativas para los cultivares y tensiones osmóticas.

En el mismo cuadro se observa el resultado de las comparaciones ortogonales efectuadas para cultivares con diferencias altamente significativas entre cultivares de alta con los de menos producción, así como diferencias significativas entre los cultivares de alta producción.

También se obtuvo diferencias altamente significativas entre las descendencias de polinización libre del 'UF-221' y 'Matina'. El análisis de la tendencia de la curva mediante el uso de los coeficientes de polinomios ortogonales (48), para los niveles de tensiones osmóticas (Cuadro 2 del Apéndice), resultaron altamente significativas las funciones lineal y cuadrática. Pero para la representación de la curva se utilizó la función cuadrática, que tuvo una confiabilidad del ajuste alta. La Figura 3 del Apéndice muestra que el crecimiento de este órgano decrece conforme se incrementan las tensiones osmóticas, pero cuyo efecto negativo en los híbridos fue menor que en las descendencias de polinización libre.

4.2.4 Peso seco de las hojas

Los resultados obtenidos del peso seco de las hojas a los 145 días de edad se presentan en el Cuadro 2, y muestran que hay una respuesta negativa al aumento de las tensiones hídricas. Tomando en cuenta los valores obtenidos de los testigos con respecto a las demás tensiones, se observa que el cruce 'Pound-12 x Catongo' presentó los valores más altos, seguido del 'Catongo x Pound-12' que los cultivares de polinización libre. Asimismo, se observa que las diferencias obtenidas

entre la tensión del testigo (0,7 bares) y las tensiones más altas son menores en el híbrido 'Pound-12 x Catongo' que en el otro cruce recíproco de alta producción, notándose también que esas diferencias con relación al testigo son más marcadas en las descendencias de los cultivares 'UF-221' y 'Matina'.

La tasa lineal (Cuadro 2) del peso seco de hojas fue negativa. El cruce 'Catongo x Pound-12' fue el que tuvo un decremento mayor (-1,33), mientras que el 'UF-221' de polinización libre tuvo el menor (-0,87) decremento.

El análisis de variancia del peso seco de las hojas (Cuadro 2 del Apéndice), mostró diferencias altamente significativas para cultivares y tensiones osmóticas, pero no su interacción entre esas dos fuentes de variancia.

El mismo cuadro muestra el resultado de las comparaciones ortogonales realizadas para cultivares con diferencias altamente significativas entre los cultivares de alta con los de menor producción, así como diferencias altamente significativas entre los cultivares de alta producción. También se obtuvo diferencia significativa en la comparación entre las descendencias de polinización libre del 'UF-221' y 'Matina'.

El análisis de la tendencia de la curva, mediante el uso de los coeficientes de polinomios ortogonales (48) para los niveles de tensiones osmóticas (Cuadro 2 del Apéndice) resultaron altamente significativas las funciones lineal y cuadrática. Sin embargo, para representación de la curva se utilizó la función cuadrática con una confiabilidad (R^2) del ajuste alta. En la Figura 4 del Apéndice muestra la respuesta que tuvo el

peso seco de las hojas, el cual decrece conforme se incrementaron las tensiones hídricas, siendo este efecto negativo más marcado en las descendencias de cultivares de menor producción.

4.2.5 Peso seco del tallo

Los datos del peso seco promedio del tallo se presentan en el Cuadro 3 y su análisis de variancia en el Cuadro 2 del Apéndice. De manera general y con excepción para los testigos, las demás tensiones afectaron el desarrollo de este organo de la planta principalmente en el cruce 'Catongo x Pound-12' y las descendencias (F_1) de polinización libre de 'UF-221' y 'Matina', bajo las tensiones de 2,80; 4,90 y 7,00 bares. Los datos del peso seco del tallo correspondiente al 'Pound-12 x Catongo' fueron mayores que el resto de los cultivares bajo las tensiones arriba de 2,80 bares.

La tasa lineal del peso seco del tallo (Cuadro 3) en los diferentes niveles de tensiones osmóticas, fue negativa para todos los cultivares. La variedad 'Matina' mostró el menor decremento (-0,27) entre todos.

El análisis de variancia para el peso del tallo (Cuadro 2 del Apéndice), mostró diferencias altamente significativas para cultivares y tensiones osmóticas pero no para la interacción. Asimismo, se muestra el resultado obtenido de las comparaciones de carácter cualitativos por contrastes, realizadas para cultivares, habiéndose obtenido diferencias altamente significativas entre los grupos de cultivares de alta con los de menor producción, y entre los de alta producción entre sí. También hubo diferencia significativa según esta misma prueba entre los cultivares de

Cuadro 3. Promedios observados y tasa lineal para el peso seco (g) de tallos y raíces, en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía.

Cultivares	Peso seco de tallos (g)		\bar{X}	Tasa lineal (g/bar)	Peso seco de raíces (g)		\bar{X}	Tasa lineal (g/bar)				
	Tratamientos (bares)	Tratamientos (bares)			Tratamientos (bares)	Tratamientos (bares)						
Pound-12 x												
Catongo (A)	4,41	2,74	1,78	1,66	2,65a	-0,44	4,62	2,31	1,86	3,08a	-0,45	
Catongo x												
Pound-12 (A)	4,56	1,99	1,21	0,94	2,18b	-0,55	4,55	2,41	1,58	1,51	2,15b	-0,47
UF-221												
(pol. lib.) (B)	4,01	1,91	1,45	1,20	2,14b	-0,42	4,10	2,31	1,74	1,54	2,42b	-0,39
Matina												
(pol. lib.) (B)	2,68	1,93	1,16	1,03	1,70c	-0,27	3,00	2,20	1,36	1,17	1,39c	-0,30
Promedio	3,92	2,14	1,40	1,21			4,07	2,62	1,75	1,52		

A = Alta producción
 B = Baja producción

+ Concentración osmótica normal (testigo) de la solución Hoagland No 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad según la prueba de Duncan.

menor producción.

El análisis de la tendencia de la curva, mediante el uso de los coeficientes de polinomios ortogonales (48) de los datos cuantitativos agrupables, representados por las tensiones osmóticas (Cuadro 2 del Apéndice) fueron altamente significativas las funciones lineal y cuadrática. Pero en la representación de la curva se utilizó la función cuadrática, que tuvo una confiabilidad del ajuste (R^2) alta. En la Figura 5 del Apéndice se observa también el efecto negativo en el crecimiento conforme se incrementa el efecto de las condiciones de sequía. La curva correspondiente al cruce 'Pound-12 x Catongo' presentó menor pendiente que los demás cultivares.

4.2.6 Peso seco de raíces

Los pesos secos de la raíz fueron muy semejante que los del tallo, como se puede observar en el Cuadro 3. Y al igual que las otras características estudiadas, las tensiones osmóticas afectaron negativamente el desarrollo de este órgano, sobre todo para las tensiones de 4,9 y 7,0 bares. Notándose, de acuerdo al promedio general, que las descendencias de polinización libre dieron valores inferiores que los dos híbridos.

Sin embargo, las tasas lineales del peso seco de raíces como efecto de las tensiones osmóticas resultaron también negativas para todos los cultivares. La variedad local 'Matina' también presentó un menor decremento ($b_1 = -0,30$) que los otros cultivares estudiados.

El análisis de variancia para el peso seco de la raíz (Cuadro 2 del Apéndice), mostró diferencias altamente significativas para cultivares y

tensiones osmóticas, pero no para la interacción de esas dos fuentes de variación.

El mismo cuadro muestra el resultado de las comparaciones de caracteres cualitativos, mediante el empleo de contrastes, correspondiente a los cultivares, según el cual se obtuvo diferencias altamente significativas para los tres tipos de comparaciones: entre cultivares de alta producción contra los de menos producción; entre cruces interclonales buenos productores y entre las descendencias de polinización libre de los clones 'UF-221' y 'Matina'.

En el análisis de datos para los niveles de tensiones osmóticas (Cuadro 2 del Apéndice), resultaron altamente significativas las funciones lineal y cuadrática, aunque para los efectos de la representación gráfica se empleó la cuadrática cuya regresión tuvo una confiabilidad (R^2) alta. Esta representación gráfica se presenta en la Figura 6 del Apéndice, donde al igual que las otras variables indicadas, existe un decremento del desarrollo radicular conforme se incrementan las tensiones hídricas. También se observa que las curvas que representan a los híbridos se encuentra sobre las curvas de las descendencias de libre polinización.

4.2.7 Número de plantas muertas y hojas caídas

Al finalizar el experimento se evaluó el número de plantas muertas y las hojas caídas, como consecuencia del efecto de los tratamientos. En el Cuadro 4 se presenta la información en términos de porcentajes (sin tomar en cuenta el número de hojas muy tiernas). Se puede observar que el cruce 'Pound-12 x Catongo' presenta el menor

Cuadro 4. Porcentaje de hojas caídas⁺ y de plantas muertas de cultivos de cacao sometidos a cuatro regímenes de sequía artificial.

Cultivos	Hojas caídas			Plantas muertas	
	Tratamientos (bares)	Pro- medio	No %	Pro- medio	No %
Pound-12 x Catongo	0,70	2,80	4,90	7,00	
Catongo x Pound-12	2,60	5,41	35,96	43,24	1 5,00
UF-221 (pol. lib.)	3,66	37,88	95,52	100,00	9 45,00
Matina (pol. lib.)	6,74	30,96	80,00	86,89	4 20,00
Promedio	25,97	43,48	100,00	100,00	10 50,00
	9,74	29,41	77,87	82,53	30,00

⁺ Datos de cinco plantas por tratamiento/cultivar y sin tomar en cuenta hojas muy tiernas.

porcentaje (% del total) que todos. Los otros cultivares tuvieron porcentajes más altos: 'Matina' con 50 por ciento y el cruce 'Catongo x Pound-12' con 45 por ciento. Las plantas de 'Matina' presentaron la mayor cantidad de hojas caídas, inclusive para el tratamiento de 0,70 bares. El cruce 'Pound-12 x Catongo' presentó los valores más bajos, notándose además que las tensiones osmóticas de 4,90 y 7,00 bares provocaron hasta el final del experimento, la mayor absición de hojas en relación con las plantas del tratamiento de 0,70 bares.

4.3 Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre la absorción de agua e iones

Los datos obtenidos para cada elemento se expresan solamente a base de los valores positivos* y analizados estadísticamente de acuerdo con el diseño irrestrictamente al azar con submuestras, por cuanto en el presente estudio se encontró 'exudación' de elementos desde la planta hacia la solución nutritiva, semejante a lo reportado por Rodríguez et al (43) en cacao y Carvajal et al (13) en café.

4.3.1 Absorción de agua

En general, la absorción de agua (Cuadro 5) por los híbridos bajo las condiciones de desbalance de agua, fue muy afectada en comparación con los datos obtenidos en los testigos creciendo en condiciones osmóticas

* Los valores negativos fueron igualados a cero, datos a base de la suma algebraica constan en el Apéndice.

Cuadro 5. Valores promedios de absorción de agua (ml/pl) y nitrógeno (mg/pl) de la solución nutritiva, tasa lineal en cuatro cultivares contrastados de cacao bajo cuatro condiciones de sequía.

Cultivares	Absorción de agua (ml)		Absorción de nitrógeno		Tasa lineal (mg/bar)	Tasa lineal (mg/bar)						
	Tratamientos (bares)	\bar{X}	Tratamientos (bares)	\bar{X}								
Pound-12 x	0,70 ⁺	2,80	4,90	7,0	0,70 ⁺	2,80	4,90	7,00	\bar{X}	7,00	7,00	(mg/bar)
Catongo (A)	196,06	136,22	83,42	75,32	122,76a	-19,84	188,78	196,69	154,61	111,54	127,13a	-12,89
Catongo x												
Pound-12 (A)	207,20	93,90	50,60	42,56	98,57b	-25,58	159,38	141,97	119,36	97,43	130,75a	- 9,93
UF+221												
(pol. lib.)(B)	158,40	81,40	54,78	51,62	86,66b	-16,54	91,91	89,40	102,83	97,50	119,26ab+	1,44
Matina												
(pol. lib.)(B)	139,22	80,98	42,74	45,26	77,05c	-15,24	68,44	94,95	100,24	82,88	97,59b	+ 2,31
Promedio	175,22	98,24	57,89	53,69			163,16	129,54	95,41	86,63		

A = Alta producción

B = Baja producción

+ Concentración osmótica normal (testigos) de la solución Hoagland No 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad según la prueba de Duncan.

normales. Los valores obtenidos para las descendencias de polinización libre de los cultivares 'UF-221' y 'Matina' indican que fueron los más afectados por cuanto el promedio a nivel de cada tensión osmótica, en los híbridos fue superior a las descendencias de polinización libre.

Pero la tasa lineal, por efecto de las tensiones osmóticas, fue negativa en todos los cultivares. 'UF-221' y 'Matina' presentaron decrementos menores que los cruces interclonales.

El análisis de variancia para la absorción de agua resultaron altamente significativos los cultivares, tensiones osmóticas pero no hubo significación para la interacción cultivar x tensiones osmóticas (Cuadro 2 del Apéndice).

En el mismo cuadro se presenta los resultados logrados de las comparaciones cualitativas, correspondientes a los cultivares, mediante el empleo de contrastes, y en el que se obtuvo diferencias altamente significativas entre los cultivares de alta producción y los de menor producción, pero no se encontró diferencia significativa entre las descendencias de libre polinización.

En el análisis para determinar la tendencia de la curva, correspondiente a las tensiones osmóticas, resultaron altamente significativas las funciones lineal y cuadrática de las cuales, para la representación gráfica, se utilizó la función cuadrática, cuya regresión se representa en la Figura 7 del Apéndice, donde se puede observar que la absorción de agua decrece con el aumento de las tensiones osmóticas, principalmente para las tensiones drásticas de 4,9 y 7,0 bares. La curva correspondiente al cruce 'Pound-12 x Catongo' se encuentra por encima de los demás cultivares; se puede observar además, un notable descenso del cruce

'Catongo x Pound-12', que se confunde con las descendencias de libre polinización.

4.3.2 Absorción de nitrógeno total

De manera general la absorción del nitrógeno fue diferente en cada cruce interclonal, como se puede observar en los datos de absorción presentado en el Cuadro 5. Se nota que los cruces 'Pound-12 x Catongo' y 'Catongo x Pound-12', absorbieron mayor cantidad de N, que el 'UF-221' y 'Matina' de polinización libre. De las observaciones anotadas en ese mismo cuadro, el 50 por ciento constituyen valores superiores al respectivo testigo, siendo más marcado esta respuesta en plantas de polinización libre de los cultivares 'UF-221' y 'Matina', principalmente para las tensiones más altas de 4,90 y 7,0 bares.

El análisis de la tasa lineal de absorción de nitrógeno total como efecto de la tensión osmótica mostró tasas positivas de 1,44 y 2,31 para 'UF-221' y 'Matina' respectivamente, mientras que fueron claramente negativas para los híbridos.

El análisis de variancia (Cuadro 3 del Apéndice) mostró diferencias significativas para cultivares y altamente significativas para tensiones osmóticas, pero no hubo significación para la interacción cultivares x tensiones osmóticas. Al calcularse la prueba de Duncan para los híbridos se encontró que éstos diferieron de las descendencias de polinización libre.

4.3.3 Absorción de fósforo

Los datos de absorción de P presentados en el Cuadro 6 muestran que, con excepción del testigo (0,70 bares), todas las tensiones

Cuadro 6. Valores promedios de absorción de fósforo y potasio (mg/pl) de la solución nutritiva y tasa lineal de tensión (bares), en cuatro cultivares de cacao.

Cultivares	Absorción de fósforo		Absorción de potasio		Tasa lineal (mg/bar)	\bar{X}						
	Tratamientos (bares)	Tasa lineal (mg/bar)	Tratamientos (bares)	Tasa lineal (mg/bar)								
Pound-12 x	0,70 ⁺	2,80	4,90	7,00	2,80	4,90	7,00	\bar{X}	55,15a	-24,86		
Catongo (A)	55,35	38,57	43,31	20,93	37,21a	-4,69	171,36	30,73	17,33	1,80		
Catongo x	39,86	24,49	26,55	14,89	23,45b	-3,47	114,66	25,91	0,00	7,09	36,92ab	-16,60
Pound-12 (A)	32,06	15,00	23,91	14,29	28,13ab	-2,11	56,39	17,33	5,91	4,73	21,09b	-7,92
UF-221 (pol. lib.)(B)	21,56	16,09	18,75	10,73	15,21c	-1,42	47,99	0,00	7,48	5,51	15,24b	-6,59
Matina (pol. lib.)(B)	39,54	26,45	21,32	16,78	97,60	18,49	7,68	4,63				
Promedio												

A = Alta producción

B = Baja producción

+ Concentración osmótica normal (testigos) de la solución Hoagland No 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad, según la prueba de Duncan.

osmóticas y particularmente la de 7,0 bares, disminuyó abundantemente la absorción de este elemento, como se observa en el cultivar 'UF-221' a 2,80 bares que sólo tuvo un consumo de 15,0 mg/lt de este elemento, que representa el -53,2 por ciento del testigo. No obstante, la tasa lineal para absorción de P (Cuadro 6) fue negativa para todos los cultivares, siendo las plantas de libre polinización 'UF-221' y 'Matina' las que mostraron menores decrementos. El análisis de variancia para la absorción de P mostró diferencias significativas para cultivares y altamente significativas para tensiones osmóticas, pero no hubo diferencias significativas para la interacción.

La prueba de Duncan mostró que el cruce 'Pound-12 x Catongo' difería significativamente de su recíproco, y del cultivar 'Matina' de polinización libre, pero no mostró diferencias estadísticas entre los promedios de 'Catongo x Pound-12' y las descendencias de polinización libre del 'UF-221'.

4.3.4 Absorción de potasio

La absorción de potasio por las plantas en la solución nutritiva fue muy baja en todas las tensiones osmóticas superiores al testigo (0,70 bares), como se aprecia en el Cuadro 6. En algunos casos, como en el cruce 'Catongo x Pound-12' bajo la tensión de 4,90 bares y 'Matina' a 2,80 bares, la absorción de K fue casi nula. Pero al efectuarse el análisis de la tasa lineal para la absorción de potasio se encontró que los cultivares de mayor producción presentaron un incremento negativo más alto que los cultivares de menor producción.

El análisis de variancia mostró diferencias significativas para la

absorción de potasio por efecto de cultivares, tensiones osmóticas e interacción cultivares x tensiones osmóticas. No se encontró diferencia entre los cruces 'Pound-12 x Catongo' y su recíproco, pero sí hubo diferencias entre los híbridos y las descendencias de libre polinización obtenidos del 'UF-221' y 'Matina' (Cuadro 3 del Apéndice).

4.3.5 Absorción de calcio

Los resultados de la absorción de calcio se presentan en el Cuadro 7. Se puede observar que el cultivar 'Matina' presentó valores más elevados con respecto al testigo para las tensiones de 2,80; 4,90 y 7,00 bares, pero influenciados por la exudación de este catión. Por otro lado, el mismo cuadro muestra que todos los cultivares, con excepción de 'Matina' tenían una tasa de absorción negativa, siendo el híbrido 'Pound-12 x Catongo' el que tuvo la tasa de decremento más alta (-10,30). La variedad local 'Matina' mostró una tasa de incremento positiva de +3,92.

El análisis de variancia no detectó diferencias significativas ni para la influencia de las tensiones osmóticas ni para los cultivares

4.3.6 Absorción de magnesio

En el Cuadro 7 se presentan los valores promedios de la absorción de magnesio por los híbridos de cacao.

Se observa que en los tratamientos con tensiones osmóticas superiores a 2,80 bares la absorción de Mg fue grandemente impedida, particularmente en los cruces 'Pound-12 x Catongo' y 'Catongo x Pound-12'. Efecto negativo semejante se notó para el cultivar 'Matina' bajo las

Cuadro 7. Valores promedios de absorción (mg/pl) de calcio y magnesio de la solución nutritiva y tasa lineal, en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía.

Cultivares	Absorción de calcio		Absorción de magnesio		Tasa
	Tratamientos (bares)	Tasa lineal	Tratamientos (bares)	Tasa lineal	lineal
	0,70 ⁺	4,90	0,70 ⁺	4,90	\bar{X} (mg/bar)
Pound-12 x					
Catongo (A)	118,52	73,89	43,80	23,42	27,83 -4,41
Catongo x					
Pound-12 (A)	93,49	89,62	50,36	24,10	24,56 -5,65
UF-221					
(pol. lib.)(B)	99,23	81,12	27,98	26,94	25,13 -1,46
Matina					
(pol. lib.)(B)	39,70	75,60	34,11	15,22	18,68 -3,92
Promedio	87,74	79,03	39,06a	23,87b	19,88bc13,37c

A = Alta producción
B = Baja producción

+ Concentración osmótica normal (testigos) de la solución Hoagland No 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad, según la prueba de Duncan.

mismas tensiones osmóticas antes indicadas.

En todos los cultivares la tasa lineal de incremento resultó negativo, siendo las plantas de polinización libre del clon 'UF-221' las que tuvieron menor valor (-1,46).

El análisis de variancia indicó que no hubo diferencias significativas para cultivares, pero sí hubo diferencias significativas (al 1%) entre las tensiones osmóticas, así como en la interacción cultivares x tensiones osmóticas (Cuadro 3).

De acuerdo con la prueba de Duncan, se detectó diferencias significativas entre la tensión de 0,7 bares (testigo), 2,80 y 4,90 y 7,0 bares. Pero a su vez, no se encontró diferencias entre las tensiones de 2,80 y 4,90 bares, y finalmente no se diferenciaron las tensiones drásticas de 4,90 y 7,0 bares.

4.4 Efecto de los tratamientos en el contenido de azufre y sodio en hojas y tallos

4.4.1 Contenido de azufre en hojas y tallos

En general, el resultado del análisis para el contenido de azufre en los tejidos presentados en el Cuadro 5 del Apéndice, reveló una menor concentración en las hojas que en el tallo, tanto en plantas testigos como tratadas.

El Cuadro 8 pone de manifiesto que en las hojas hubo una relación directa entre la cantidad de azufre y el aumento de la tensión osmótica. Bajo la tensión de 2,80 bares el cruce 'Catongo x Pound-12', presentó el contenido menor de azufre (0,329%) en las hojas que los demás cruces,

Cuadro 8. Análisis del contenido promedio de azufre (%) y tasa lineal en hojas y tallos de cuatro plantas por tratamiento por cultivar, a los cuatro meses de edad.

Cultivares	A z u f r e											
	Hojas			Tallos								
	Tratamientos (bares)		Tasa lineal	Tratamientos (bares)		Tasa lineal						
	2,80	4,90	7,00	\bar{X}	0,70	2,80	4,90	7,00	\bar{X}	(%/bar)	(%/bar)	
Pound-12 x Catongo	0,286	0,361	0,565	0,783	0,499b	0,08	0,325	0,489	0,701	0,841	0,589	0,08
Catongo x Pound-12	0,208	0,329	0,323	0,744	0,401c	0,08	0,222	0,470	0,578	1,219	0,622	0,15
UF-221 (pol. lib.)	0,252	0,433	0,682	1,077	0,611a	0,13	0,321	0,426	0,671	1,189	0,652	0,14
Matina (pol. lib.)	0,208	0,355	0,598	0,791	0,488b	0,09	0,236	0,488	0,648	0,968	0,575	0,11
Promedio	0,239	0,370	0,542	0,849			0,276d	0,458c	0,650b	1,054a		

+ Tensión osmótica normal (testigos) de la solución nutritiva Hoagland N° 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad, según la prueba de Duncan.

mientras que las plantas de polinización libre del clon 'UF-221' las que mayor contenido de azufre acumularon a esa misma tensión (0,433%). A 4,90 bares el cruce 'Catongo x Pound-12' acumuló menor cantidad de azufre en sus hojas. Bajo la influencia de la tensión drástica de 7,0 bares todos los cultivares presentaron valores arriba del 0,74 por ciento, con excepción de las plantas provenientes de polinización libre del clon 'UF-221' cuyo valor alcanzó 1,077 por ciento en la máxima tensión.

En general, las tasas para el contenido de azufre en hojas y tallos resultaron positivas. El mayor incremento del contenido de azufre en las hojas correspondió al 'UF-221' de polinización libre.

El análisis de variancia del contenido de azufre en hojas (Cuadro 4 del Apéndice), mostró que hubo diferencias significativas para cultivares, tensiones osmóticas e interacción de estas dos fuentes de variación. La prueba de Duncan para cultivares y tensiones mostró diferencias significativas entre las medias de cada Fl.

La prueba de Duncan para el contenido de S en hojas no señaló diferencias entre el 'Pound-12 x Catongo' y la variedad local 'Matina' de polinización libre, pero sí hubo diferencia entre los antes mencionados con el 'Catongo x Pound-12' y 'UF-221' de polinización libre.

Los resultados del análisis del contenido de azufre en los tallos reveló que el azufre se acumuló en mayor cantidad en los tejidos de la madera que el mesófilo de las hojas (Cuadro 5 del Apéndice).

La tasa lineal para el contenido de S en el tallo fueron positivas para las hojas y los tallos. El cruce 'Catongo x Pound-12' y 'UF-221' de polinización abierta, presentaron las mayores tasas de incremento en el tallo.

El análisis de variancia efectuado para el contenido de S en tallo (Cuadro 4 del Apéndice), mostró que no hubo diferencias significativas para los cultivares, así como para la interacción cultivares x tensiones osmóticas. La prueba de Duncan efectuada para la comparación de medias de tratamientos (T0) detectó diferencias significativas entre las tensiones osmóticas.

4.4.2 Contenido de sodio en hojas y tallos

Este elemento en plantas tratadas se acumuló en hojas y tallos en mayor proporción que el azufre en esos mismos organos, como se puede observar en el Cuadro 5 del Apéndice. Semejante a los resultados obtenidos para el azufre, la cantidad de Na (Cuadro 9) aumenta en forma lineal a medida que se aumentan las tensiones osmóticas.

Los resultados promedios del Cuadro 9, muestran que las plantas acumularon un poco más de sodio en las hojas que los tallos. En las hojas a 2,80 bares el cruce 'Pound-12 x Catongo' tuvo un contenido medio menor que los demás F1, y el 'Matina' un contenido mayor (1,33%) seguido de 'Catongo x Pound-12' con 1,14%. Bajo la influencia de la tensión de 4,90 bares el cruce 'Pound-12 x Catongo' tuvo el menor contenido de sodio en hojas (1,591%). A 7,0 bares de tensión, el híbrido con mayor contenido de Na fue el 'Catongo x Pound-12' con 2,27 por ciento, mientras que el cruce 'Pound-12 x Catongo' tuvo el menor contenido medio con 1,76 por ciento. Conforme se puede observar en los datos del mismo cuadro, los cruces 'Pound-12 x Catongo' y 'UF-221', presentaron valores menores que los demás cruces.

Cuadro 9. Análisis del contenido promedio de azufre (%) y tasa lineal en hojas y tallos de cuatro plantas por tratamiento, a los cuatro meses de edad.

	S o d i o					
	Hojas			Tallos		
	Tratamientos (bares)	Tasa lineal (%/bar)	\bar{X}	Tratamientos (bares)	Tasa lineal (%/bar)	\bar{X}
Cultivares	0,70 ⁺ 2,80 4,90 7,00	7,00	7,00	0,70 ⁺ 2,80 4,90 7,00	7,00	7,00
Pound-12 x Catongo	0,139 0,930 1,591 1,760	1,760	1,105c	0,117 0,595 1,230 1,553	1,553	0,874 0,24
Catongo x Pound-12	0,135 1,140 1,886 2,270	2,270	1,358a	0,130 0,759 1,344 2,463	2,463	1,174 0,36
UF-221 (pol. lib.)	0,145 0,956 1,606 1,969	1,969	1,169b	0,430 0,571 1,148 2,101	2,101	1,063 0,27
Matina (pol. lib.)	0,133 1,330 1,905 1,985	1,985	1,338a	0,122 0,405 1,486 2,270	2,270	1,071 0,36
Promedio	0,138 1,089 1,747 1,996	1,996		0,200d 0,583c 1,302b 2,097a		

⁺ Tensión osmótica normal (testigos) de la solución nutritiva Hoegland No 2.

Los promedios con una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad, según prueba de Duncan.

El análisis de las tasas lineales de incremento (Cuadro 9) mostró que hubo incrementos positivos bajos de contenido de sodio en las hojas de todos los cultivares.

El análisis de variancia del contenido de este elemento en las hojas (Cuadro 4 del Apéndice) mostró que hubo diferencias altamente significativas para cultivares y niveles de tensiones osmóticas, pero no se encontró diferencia significativa para la interacción cultivares x tensiones osmóticas.

La prueba de Duncan mostró que no hubo diferencias entre los contenidos de Na en hojas entre el 'Catongo x Pound-12' y 'Matina', pero estos sí difirieron del 'Pound-12 x Catongo' y descendencias de polinización libre de 'Matina'.

Los datos obtenidos para el contenido de Na en el tallo (Cuadro 5 del Apéndice) en plantas tratadas, fue mayor que el contenido de S en tallos, pero fue menor el contenido de Na en el tallo que el contenido de este mismo elemento (Na) en hojas.

Bajo la tensión de 2,80 bares, el menor contenido de Na en este organo se lo encontró en la variedad 'Matina' con 0,40 por ciento, mientras que el cruce 'Catongo x Pound-12' acumuló la mayor cantidad de Na con 0,759 por ciento. A la tensión de 7,0 bares el cruce 'Catongo x Pound-12' fue el que mayor Na presentó en el tejido del tallo, mientras que su recíproco presentó el menor contenido (1,55 %), seguido del 'UF-221' de polinización libre con 2,10 por ciento.

La tasa lineal de incremento para el contenido de sodio en el tallo, puso de manifiesto tasas de incremento positivas bajas en todos los cultivares.

El análisis de variancia para el contenido de Na en el tallo (Cuadro 4 del Apéndice), arrojó diferencias altamente significativas para los efectos de tensiones osmóticas, y al igual que para el contenido de S en tallos, no se encontraron diferencias significativas para cultivares ni para la interacción cultivares x tensiones osmóticas.

La prueba de Duncan para los niveles de tensiones osmóticas detectó también diferencias significativas entre todas las tensiones hídricas.

4.5 Correlaciones ente las características estudiadas

En el Cuadro 10 se presenta el grado de asociación entre las variables estudiadas, donde se puede notar que existe una correlación alta y positiva entre casi todas las medidas del crecimiento. Esto se debe a que el crecimiento total es una medida compuesta de todos sus componentes y será mayor mientras más altas sean sus contribuciones.

La absorción de agua por las plantas guardó una alta correlación con el volumen de raíces y peso seco de hojas, tallos y raíces. El grado de asociación entre la absorción de nitrógeno total, fósforo y potasio con los componentes del crecimiento fue alta y positiva, pero no se encontró correlación entre los componentes del crecimiento con la absorción de calcio, debido posiblemente al antagonismo iónico de este elemento con los demás cationes.

Las asociaciones entre los componentes del crecimiento y la absorción de los iones con el contenido de azufre y sodio en los tejidos de las plantas presentaron en general correlaciones negativas altas y bajas, debido a que los elevados contenidos de S y Na no favorecieron el desarrollo de los componentes del crecimiento.

5. DISCUSION

5.1 Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre los componentes del crecimiento

En general, los resultados de peso seco de las hojas de tallos y raíces, volumen de raíces, y absorción de agua, obtenidos en el presente estudio, pusieron de manifiesto que la sequía fisiológica impidió el normal desarrollo de plantas de los diferentes genotipos de cacao. Además, hubo una reacción diferente entre los cultivares empleados. Según Devlin (17), la mayor parte de la absorción de agua se hace por el sistema radical a través de mecanismos osmóticos pasivos como sería la provocación de un gradiente de déficit de presión de difusión (DPD). En condiciones normales el agua penetra a las raíces cuando el DPD del citoplasma celular es mayor que el de la disolución del suelo. Al aumentar la tensión de la solución nutritiva, ocurre también un aumento de la presión osmótica externa con relación a la del contenido celular, originando el movimiento inverso. En términos generales, puede expresarse teóricamente que hay cese de la absorción de agua cuando el DPD de la planta es igual al medio.

La sequía artificial producirá un efecto fisiológico negativo de menor absorción de agua y nutrimentos, lo cual acarrearía menor actividad fotosintética. En cacao particularmente sus estomas son muy sensibles y se cierran ante las deficiencias de agua (1, 12), ocurriendo entonces menos entrada de CO_2 , menor desarrollo foliar y pérdida de permeabilidad de las raíces (17).

El mayor número de muertes de plantas en las descendencias de libre

polinización de los clones 'UF-221' y 'Matina' fue muy semejante al reportado por Jiménez (30) como efecto tóxico del régimen II. Para explicar esa reacción este autor se apoyó en la hipótesis de que la muerte de plantas se debía a la baja actividad metabólica que impidió producir suficientes tejidos que actuaran como 'disolventes' de iones absorbidos en exceso. En este sentido Bernstein (10, 11) y Eaton (18) también afirman que las plantas que poseen cierto grado de resistencia a la sequía incrementan el contenido de sales y carbohidratos osmóticamente activos en el interior de sus células cuando se presentan las condiciones de tensión hídrica.

Si se comparan los valores medios obtenidos en los cultivares de alta producción con los de menor producción, se observa que los primeros fueron menos afectados por la sequía. Esto podría indicar que posiblemente tienen un sistema metabólico más eficiente para absorber nutrientes del medio en condiciones adversas, lo que les confiere una mejor capacidad de producción que los cultivares de baja producción. Sin embargo, cabe destacar que hay también diferencias significativas entre cultivares de alta y entre los de baja producción, lo que indicaría que el control genético de las diferencias es complejo y de naturaleza cuantitativa.

El análisis de las tendencias de respuestas de los cultivares al efecto de las tensiones osmóticas fueron altamente significativas para las funciones lineales y cuadráticas en todas las variables, con una confiabilidad para el ajuste muy alto. Esto significa que conforme aumentaba la tensión osmótica la respuesta de la variable decrecía en proporción geométrica, si se acepta la función cuadrática como la más ajustada

a los datos. Los híbridos de alta producción (Figuras 3, 4, 5, 6 y 7 del Apéndice), mostraron una menor pendiente de la curva cuadrática, siendo los valores calculados (Y) superiores a las plantas de libre polinización. Estos resultados respaldarían la hipótesis planteada por Gutiérrez (26), para café y Jiménez (30) para cacao, de que la producción potencial y la tolerancia al exceso de sales nutritivas por las plantas están íntimamente relacionadas con su constitución genética.

Se podría concluir en base a lo expuesto y a las altas correlaciones encontradas, que se puede utilizar como criterio de selección para separar a temprana edad plantas de alto de las de menor rendimiento potencial mediante la estimación de peso seco de hojas, tallos y raíces, el volumen de raíces y la capacidad de absorción de agua, como medidas discriminatorias confiables.

5.2 Influencia de los tratamientos de sequía fisiológica sobre la absorción de iones

5.2.1 Influencia de las tensiones osmóticas en la absorción de iones N, P, K, Ca y Mg

La absorción de iones fue influenciada por las altas tensiones osmóticas en forma similar que las características morfológicas. Con excepción hecha para el calcio, las tensiones osmóticas sobre los 2,80 bares ejercieron con tendencia cuadrática altamente significativa, influencia negativa en la absorción de N, P, K y Mg, lo que se reflejó en las diferencias altamente significativas para las tensiones osmóticas utilizadas en los análisis de variancia. Esto se explicaría en base a

que la absorción de esos nutrimentos, disminuyó con respecto a sus respectivos testigos (0,70 bares), en forma inversamente proporcional al aumento de las tensiones hídricas del medio radical. Estos resultados concuerdan con los de Loayza (32), quien trabajando con tres variedades de frijol (P. vulgaris L.) obtuvo tendencias similares al elevar la tensión osmótica del medio nutritivo mediante el uso de glicol polietilénico.

Las tensiones de 4,90 y 7,00 bares produjeron una marcada 'exudación' de N total, aunque esta fue menor en los cultivares de altas que en los de bajas producciones. La excreción de N total en cacao concuerda con los resultados en algunas plantas superiores, reportados por Katznelson et al y citados por Crocomo et al (14). Estos autores indicaron además, que los aminoácidos excretados por las raíces se aumentaban con el secado del suelo o al llegar las plantas al punto de marchitamiento temporal.

La sequía fisiológica drástica provocada por la tensión de 7,0 bares afectó la absorción de fósforo en todos los cruces interclonales. Esto difiere de lo reportado por Jiménez (30), quien solo encontró inferior absorción de fósforo por los cultivares de menor productividad bajo el régimen II.

La sequía artificial aparentemente limitó la utilización de potasio, lo cual se comprueba por los bajos valores obtenidos para la absorción de este ion. Se observó que únicamente las plantas del cultivar 'UF-221' mostraron necrosamiento de los bordes hacia el ápice de las hojas más viejas, muy similar a la descripción de Evans (21) en Trinidad

y Machicado y Alvin en Costa Rica (33), como típica para la falta de este elemento en cacao joven. Este síntoma fue observado claramente en el presente estudio, antes de comenzar la aplicación de los tratamientos.

La ausencia relativa de absorción del ion calcio (Ca) como influencia de las diferentes tensiones osmóticas en los diferentes cultivares, no concuerda con los resultados de Jiménez (30) en cacao, pero se asemeja con lo reportado por Gutiérrez (26) en café, quien encontró resultados similares con variedades de altos y bajos rendimientos.

Para la absorción de magnesio, al igual que el calcio, los cruces interclonales no reaccionaron en forma significativamente diferente.

Según Jiménez (29) la planta de cacao tiene aparentemente dificultad para absorber o acumular suficiente magnesio cuando la relación $\text{meq K}^+/\text{meq Mg}^{++}$ en el medio hídrico se aproxima a 3. Por otra parte, la relativa absorción uniforme de calcio que manifestaron los cultivares, pudo deberse al antagonismo con el magnesio o potasio, así como a la selectividad que ejerce la membrana celular sobre este catión.

5.2.2 Absorción de iones por los cultivares

Los cultivares de alta producción que son híbridos recíprocos de los mismos clones, fueron en general más eficientes que los de bajas producciones en la absorción de N y K, siendo menos evidente la tendencia para la absorción de P. Estos resultados podrían indicar que los genotipos de altas producciones tienen mecanismos metabólicos más eficientes para absorber estos elementos en condiciones adversas en comparación con los genotipos de baja producción. Es posible también que

esta sea una característica genética transmisible por ciertos genotipos y asociada con la eficiencia de absorción de ciertos iones.

La absorción de ciertos iones fue bastante diferente en plantas de cacao joven con genotipos contrastantes. Chavez (15) y Loayza(32), trabajando con líneas diferentes de frijol, demostraron que sus respuestas a la absorción de P y N eran muy diferentes, aduciendo las diferencias a comportamiento influenciado por control genético (32).

El cultivar 'Matina' aparentemente tiene un genotipo ineficiente para absorción de iones. Cabe, sin embargo, destacar el comportamiento de las descendencias de polinización abierta del clon 'UF-221', que se las clasificó como de baja producción, sin embargo, fue altamente eficiente en absorción de N y P y no de Potasio. El clon 'UF-221' propagado vegetativamente es uno de los cultivares de mejores producciones y posiblemente sea eficiente en absorción de iones como clon. Sus descendencias sexuales son segregantes y por lo tanto, deben mantener parte del genotipo de alta producción y en consecuencia la eficiencia de absorber ciertas sales.

Es interesante el comportamiento diverso de los dos cultivares de alta producción en la absorción de P, al considerar que son cruzamientos recíprocos de los mismos clones. Cuando el clon 'Pound-12' aparece como madre y 'Catongo' como padre, la eficiencia de absorción de todos los iones es mayor, pero en las descendencias del cruce inverso la absorción de P fue significativamente menor. La única posible explicación genética sería la existencia de alguna influencia maternal en la primera edad, transmitida por las semillas maternas y que posiblemente desaparezcan más tarde

a mayor edad de las plantas. Ascenso y Bartley (5) y Vello (49), reportaron este tipo de influencia al estudiar las medidas de crecimiento en cacao.

Las reacciones de absorción de N y K podrían usarse en un grado de más confiabilidad que el P como criterio de separación de genotipos de altas y bajas productividades en plántulas de cacao. Las reacciones de absorción de calcio y magnesio no podrían tomarse en cuenta para separación de reacciones ya que todos los cultivares reaccionaron en forma similar entre sí.

5.2.3 Contenido de azufre y sodio en hojas y tallos

Evidentemente las plantas incorporaron a sus tejidos el catión (Na^+) y el anión sulfato (SO_4^{-2}) que forman parte de Na_2SO_4^* , al ionizarse la sal dentro de la solución nutritiva. Los resultados del análisis para los contenidos de S y Na aumentaron proporcionalmente con el grado de tensión osmótica. De acuerdo con Devlin (17), el azufre es absorbido por la planta en forma de ion sulfato (SO_4^{--}) y posteriormente reducido por un estado activado, acaba siendo reducido e incorporado a la cistina o metionina, en cuyo estado termina formando parte de las proteínas. Según Levitt (31), su importancia en las plantas no xerofíticas también radica en que el grado de su resistencia parece estar asociado con la característica de que sus proteínas poseen mecanismos

* Forma compuestos solubles mayor que 0,1 M con la mayoría de los cationes.

moleculares que impiden la unión de sus grupos sulfidrilos para formar disulfidos cuando hay escasez de agua. Estos aniones son causantes de la distorsión de las moléculas de proteínas y pérdida de la actividad enzimática. En el presente estudio se observó que el contenido de azufre en hojas y tallos de los testigos fue inferior al encontrado en hojas y tallos de plantas tratadas y en las tratadas el contenido de azufre en hojas fue inferior al del tallo. Iguales resultados obtuvieron en frijol Malagamba (34) y Armenta (4), quienes también utilizaron la misma sal para provocar sequía artificial.

Contrariamente a lo reportado por estos mismos autores (4, 34), el contenido de sodio (Na) fue mayor en hojas que en el tallo de plantas tratadas. Estos resultados podrían tener relación con el trabajo de Adriani en 1958, mencionado por Crocomo et al (14), quien observó que al aumentar la concentración de NaCl en el medio externo, se produce también un aumento en la concentración del citoplasma celular en Cl y Na.

5.2.4 Tasas de incremento de todas las variables estudiadas

El estudio del área foliar, altura y diámetro del tallo, se efectuó mediante análisis de tasas de incremento logarítmico en relación con la edad de las plantas.

Es conocido que los procesos responsables para el crecimiento son numerosos y complejos, siendo bastante difícil formular una definición precisa de lo que se entiende por crecimiento, aún cuando en la práctica se acepta que es cualquier incremento permanente en el tamaño. El desarrollo foliar de todos los cultivares fue frenado por la sequía provocada por las altas concentraciones del medio hídrico, y según James (28),

el área foliar está más sujeta a variaciones al comienzo de la época de crecimiento y en su desarrollo final. Puede aumentar considerablemente por el abundante suministro de nitrógeno y fósforo cuya absorción en el presente trabajo fue negativa, produciendo salida de iones de las plantas al medio hídrico, limitando por tanto su crecimiento.

Al igual que el área foliar las tasas de incremento para la altura y diámetro del tallo en todos los cultivares no fueron muy marcados, ya que las tensiones osmóticas del medio nutritivo no permitieron un desarrollo normal. Se notó muy poco progreso en las medidas entre los intervalos de tiempo en que se tomaron los datos, sobre todo en el caso de las altas tensiones osmóticas.

En general, las tasas lineales de incremento en función de las tensiones osmóticas fueron negativas para todos los cultivares en volumen de raíces, peso seco de hojas, tallos y raíces, absorción de nitrógeno, de fósforo, de potasio, de calcio y de magnesio. El cultivar 'Matina' fue el que mostró menores tasas lineales negativas y aún ligeramente positivas en nitrógeno y calcio. Esto podría interpretarse como que este cultivar fue relativamente más eficiente en la adsorción de iones en condiciones adversas de sequía fisiológica, mientras que los híbridos de altas producciones fueron los menos resistentes ya que, en general, mostraron tasas lineales mayores de decremento en todas las variables estimadas, sin embargo, las diferencias cuantitativas no son muy grandes.

Por otro lado, también si se observa las diferencias de las variables entre los cultivares en la solución testigo (0,70 bares), casi invariablemente se encuentra que el cultivar 'Matina' mostró los menores

valores hasta el fin del experimento, indicando que posiblemente su metabolismo general es menos eficiente que el de los híbridos. La mayor eficiencia aparente y ligera de 'Matina' en la absorción de iones como nitrógeno, calcio, fósforo y potasio podría indicar que efectivamente sea más eficiente en absorber ciertos iones, lo cual ha sido demostrado en ciertos cultivares de frijol (32).

Los resultados de las tasas lineales negativas ligeramente mayores en los cultivares de altas producciones que en los de bajas producciones, son aparentemente contradictorios con los resultados de los análisis de los datos absolutos obtenidos para las mismas variables de respuesta. Sin embargo, para los propósitos prácticos de evaluación con medidas de crecimiento, la relativa mejor reacción a sequía del cultivar 'Matina', no fue suficiente para compensar ni sobrepasar en crecimiento general (diámetro y altura del tallo, peso seco, etc.) a los cultivares superiores durante el período de ensayo. Se podría concluir por lo tanto, que el método sí es eficiente en separar cultivares de mayor crecimiento relativo de las de menor crecimiento en pruebas rápidas y a edad temprana de plantas de cacao.

Valdría la pena realizar pruebas adicionales de más larga duración en cultivares contratados, incluyendo 'Matina', para confirmar su aparente resistencia a la sequía.

5.2.5 Reacción de las plantas al Na_2SO_4

En general, el cacao joven demostró ser sensible al aumento de las tensiones osmóticas, e inclusive para la más baja tensión de 2,80 bares, causando sin duda, un gran trastorno fisiológico en hojas

jóvenes y adultas. Estas características fenológicas observadas en plántulas de cacao, fue diferente al efecto causado en frijol, por cuanto esta especie es aparentemente tolerante al sulfato de sodio (18) y no manifiesta síntomas externas de toxicidad (4, 34), mientras que en cacao se observaron quemaduras laterales y apicales, seguidas de un amarillamiento de la zona inmediata a las nervaduras principales y secundarias de hojas jóvenes y adultas. Las quemaduras se caracterizaron por presentar bordes irregulares. Es posible que el anión SO_4^{-2} de la sal empleada, que se caracteriza por formar compuestos solubles, mayor que 0,1 M, con la mayoría de los cationes, haya provocado interacción con otros cationes como el NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} y Mn^{+2} que contribuyó a producir necrosamiento en las hojas.

Por otra parte, Evans (21) logró inducir toxicidad en plantas de cacao mediante exceso de NaCl , cuyos síntomas externos se asemejaron con los del presente estudio y con el aspecto que presentan ciertas plantaciones comerciales de cacao ubicadas próximas al mar en la zona Atlántica de Costa Rica*.

* Dr. Eduardo Jiménez, comunicación personal.

6. CONCLUSIONES

En base a los datos recogidos bajo condiciones de invernadero, se puede concluir lo siguiente:

1. Es posible separar familias de diferente reacción de resistencia a sequía y por lo tanto, realizar una selección potencial para altas o bajas producciones a edades muy tempranas y en condiciones de invernadero.
2. La absorción de nutrimentos se encontró influenciada por el proceso de excreción, principalmente para el K, Ca y Mg y en menor grado para el N y P bajo las tensiones de 4,90 y 7,0 bares.
3. Aparentemente la utilización de K se vio impedida por el empleo de Na_2SO_4 , siendo el cultivar 'UF-221' de polinización libre el que primero presentó síntomas de carencia de este macroelemento.
4. La sal empleada para elevar las tensiones osmóticas ocasionó trastornos fisiológicos semejantes al aspecto que presenta el follaje de plantaciones comerciales próximas al mar.
5. Los cultivares con más contenido de sodio en las hojas, presentaron mayor cantidad de hojas caídas.
6. El cultivar 'Matina' tiene desventaja inicial en las medidas de crecimiento, pero su tasa de crecimiento y absorción es relativamente más eficiente que los híbridos.

7. RESUMEN

El trabajo se realizó en invernadero y laboratorio; se utilizaron plantas provenientes de semillas de polinizaciones controladas de los cruces 'Pound-12 x Catongo' y 'Catongo x Pound-12' y plantas de polinización libre del cultivar 'UF-221' y de la variedad local 'Matina'.

A los 30 días después de la germinación y cuando las plantitas tuvieron de 3 a 4 hojas, se inició el período de aclimatación en solución nutritiva Hoagland N° 2 diluída, debidamente aireada.

Las plantas fueron dispuestas en un arreglo factorial simple 4x4, dentro de un diseño irrestrictamente al azar. Se utilizó 5 repeticiones de cada tratamiento, representado por una planta. Los tratamientos consistieron en someter las plantas a cuatro tensiones osmóticas: 0,70; 2,80; 4,90 y 7,00 bares, mediante el empleo del Na₂SO₄ anhidro, aplicado gradualmente cada siete días. Los datos recogidos fueron: área foliar (cm²), altura (cm) y diámetro del tallo (mm); volumen de raíces (ml/pl), peso seco de las plantas (g), número de plantas muertas y hojas caídas; absorción de agua (ml/pl), nutrimentos (mg/pl) - N, P, K, Ca y Mg - de la solución nutritiva, y por último contenido de Na y S (%) en los tejidos.

Los análisis estadísticos efectuados para área foliar, volumen de raíces, peso seco de hojas, tallos y raíces; absorción de agua, N, P y K; contenido de azufre y sodio en las hojas, arrojaron diferencias altamente significativas para híbridos y tensiones osmóticas. En general, no se encontró significación para la interacción cultivares x tensiones osmóticas.

El análisis de datos para los niveles de tensiones osmóticas, se efectuó mediante el empleo de contrastes ortogonales, resultando significativas las funciones lineales y cuadráticas, constituyendo las tensiones osmóticas más elevadas de 4,90 y 7,00 bares los que mayor efecto negativo causaron en la fisiología de las plantas.

La evaluación del crecimiento del área foliar, altura y diámetro del tallo se hizo mediante un análisis de tasa de incremento logarítmico en relación con la edad, pero los resultados obtenidos no mostraron incremento muy marcado, debido al efecto de las condiciones adversas de la sequía.

El análisis de la tasa lineal de incremento de las variables estudiadas en función de las tensiones, fueron en general negativas. El cultivar 'Matina' tiene desventaja inicial en las medidas directas, pero su tasa de crecimiento y absorción es aparentemente más eficiente que los híbridos.

El sulfato de sodio provocó muy marcada absorción negativa de K desde las plantas hacia la solución nutritiva y algo menor para el N, P y Ca. Se observó también que las plantas presentaron síntomas de intoxicación salina posiblemente debido al exceso de Na, además de carencias visibles de K o Mg.

Se concluye que las variables estudiadas son buenos indicadores para seleccionar plantas a edad temprana en cacao, particularmente por el peso seco de plantas, volumen de raíces, absorción de agua, N y P.

También se encontró una relación directa entre la producción de campo de las plantas de los mismos cultivares, con la reacción que mostraron

las plantas jóvenes, bajo los efectos de sequía artificial, siendo los cultivares de mayor productividad los menos afectados en su crecimiento total y absorción de agua e iones.

7a. SUMMARY

The work was carried out in the greenhouse and laboratory, using plants from seeds of crosses 'Pound-12 x Catongo' and 'Catongo x Pound-12' and plants from open pollination of the cultivars, 'UF-221' and the local variety 'Matina'.

Adaptation began thirty days after germination when the plants had 3 to 4 leaves, in diluted Hoagland N^o 2 nutrient solution, duly aired.

The plants were placed in a 4x4 simple factorial arrangement with- in a randomized design. Each treatment had five repetitions, each re- presented by a plant. The treatments consisted of submitting the plants to four water stresses: 0.70; 2.80; 4.90 and 7.00 bars, using anhydrous Na₂SO₄, which was applied gradually every seven days. The data collected were: leaf area (cm²), height (cm) and stem diameter (mm); root volume (ml/in), nutrients N, P, K, Ca and Mg in solution (mg/in), and finally, Na and S content in the tissue (%).

The statistical analyses performed for leaf area, root volume, dry weight of leaves, stems and roots, water, N, P, and K absorption; leaf sulphur and sodium content, gave highly significant differences for hybrids and water stress. In general, no significance was found for the interaction cultivars x water stress.

The analysis of the data for the water stress levels was carried out using orthogonal contrasts, the lineal and quadratic functions result- ing significant and the higher water stress levels of 4.90 and 7.00 bars being the ones which caused greater negative effect in the plant's physio- logy.

The evaluation of leaf area growth, height and stem diameter was made with an analysis of logarithmic increment rate in relation to age, but the results obtained did not show a marked increase, due to drought conditions.

In general, the lineal increment rate analysis of the variables studied in function of the stresses, was negative. The cultivar 'Matina' has an initial disadvantage in the direct measurements, but its growth and absorption rate is apparently more efficient than the hybrids.

Sodium sulphate caused a very marked negative K absorption from the plants towards the nutrient and slightly less for N, P and Ca. It was also observed that the plants presented symptoms of saline intoxication possibly due to the excess of Na, plus a visible lack of K or Mg.

It was concluded that the variables studied are good indicators for cocoa plant selection at an early age, especially dry plant weight, root volume and water, N and P absorption.

A direct relation was also found between field production of plants from the same cultivars with the reaction that the young plants showed under artificial water stress effects, as the greater productivity cultivars were the least affected in total growth and water and ion absorption.

8. LITERATURA CITADA

1. ALVIN, P. de T. Las necesidades de agua del cacao. Turrialba (Costa Rica) 10(1):6-16. 1960.
2. _____ y GRANJIER JUNIOR, A. Estudio sobre el análisis de crecimiento de plántulas de cacao de diferente origen genético. Cacao (Costa Rica) 11(2):1-3. 1966.
3. AMORIN, H. V. et al. Efeitos de diferentes niveis de N, P e K sobre cacaueiros jovens (Theobroma cacao L.) em soluçao nutritiva. Anais da Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' 21:152-156. 1964.
4. ARMENTA, S. J. La turgencia relativa y la conductividad eléctrica como criterios para evaluar la resistencia a sequía en el cultivo del frijol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 61 p. (mimeografiada).
5. ASCENSO, J. C. y BARTLEY, B. G. Varietal relationship of growth factors of young cacao seedlings. Euphytica 15(2):211-223. 1966.
6. ASOMANING, E. J. A. y LOCKARD, R. G. Note on estimation of leaf areas of cacao from leaf length data. Canadian Journal of Plant Science 43(2):243-245. 1963.
7. _____ y KWAKWA, R. S. Physiology of cocoa. The potassium requirements of young cocoa plants. Annual Report Cocoa Research Institute 1966-67. pp. 87-92. 1968.
8. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 9 ed. Washington, D. C., 1960. 1009 p.
9. BARTLEY, B. G. D. Twenty years of cacao breeding at the Imperial College of Tropical Agriculture, Trinidad. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a, Salvador e Itabuna, 1967. Memórias. Bahía, Brasil, CEPLAC, 1969. pp. 29-34.
10. BERNSTEIN, L. Osmotic adjustment of plant to saline media. I. Steady state. American Journal of Botany 48(10):909-918. 1961.
11. _____. Osmotic adjustment of plant to saline media. II. Dynamic phase. American Journal of Botany 50(4):360-370. 1963.

12. BOYER, J. Etude Experimentale de l'action du potentiel Hydrique sus la croissance végétative de jeunes cacoyers. *Café Cacao* Thé 17(3):189-204. 1973.
13. CARVAJAL, J. F., ACEVEDO, A. y LOPEZ, C. A. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. *Turrialba (Costa Rica)* 19(1):13-20. 1969.
14. CROCOMO, O. J., NEPTUNE, A. M. L. y REYES-ZUMETA, H. Absorción de iones por las plantas. Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, 1965. 188 p.
15. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. *Methods of analysis for soil, plants and waters.* California, University of California, 1961. 309 p.
16. CHAVEZ, L. A. Características morfo-fisiológicas de las raíces en frijol (*Phaseolus vulgaris* y *Vigna sinensis*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 81 p. (mimeografiada).
17. DEVLIN, R. M. Fisiología vegetal. Traducido de la edición inglesa por Xavier Llimona Pagés. Barcelona, España, Omega, 1970. 614 p.
18. EATON, F. M. Toxicity and accumulation of Cl^- and SO_4^{--} salt in plant. *Journal of Agricultural Research* 64(7):357-399. 1964.
19. ENRIQUEZ, C. G. A. Avances en el mejoramiento genético del cacao en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Ecuador. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacao, 2a., Salvador e Itabuna, 1967. Memórias. Bahía, Brasil, CEPLAC, 1969. pp. 76-79.
20. ERICKSON, A. L. Propagación de cacao por medio de semillas. In Hardy, F., ed. *Manual de cacao.* Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. pp. 137-146.
21. EVANS, H. y FENNAH, R. G. Investigations on the mineral nutrition of cacao. In Imperial College of Tropical Agriculture. A report on cacao research 1945-1951. St. Augustine, Trinidad, 1953. pp. 38-52.
22. GARCIA, R. J. Estudo de indices de crescimento e produtividade para selecao juvenil em híbridos de cacao. Tese Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 89 p. (mimeografiada).
23. GAUCH, H. G. y WADLEIGH, C. H. Effects of high salt concentrations on growth of bean plants. *Botanical Gazzette* 105(3): 379-387. 1944.

24. GLENDINNING, D. R. The relationship between growth and yield in cacao varieties. *Euphytica* 9:351-355. 1960.
25. _____. Recent advances at the Cocoa Research Institute, Tafo, in breeding, selections, and seed multiplication methods. In Technical Working Party on Cocoa Productions, 1^o, Rome, 1964. Papers presented. Rome, FAO, 1964. Working paper (Ca) 64/12. 12 p.
26. GUTIERREZ, G. J. Estudio de la capacidad de utilización de nutrientes en variedades de café y cacao y su relación con el rendimiento. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1964. 61 p. (mimeografiada).
27. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. Physiological aspects of availability of nutrients for plant growth. *Soil Science* 51:431-443. 1941.
28. JAMES, W. D. Introducción a la fisiología vegetal. Traducido de la 6 ed. inglesa por Xavier Llimona Pagés. Barcelona, España, Omega, 1967. 328 p.
29. JIMENEZ, S. E. Comportamiento de la planta joven de cacao en diferentes medios acuosos de cultivo. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science, Tropical Region* 10:57-75. 1967.
30. _____. Relación entre el genotipo, productividad potencial y tolerancia del cacao al exceso de sales. I. Estudios del crecimiento. II. Estudio de la absorción y utilización del nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. *Turrialba (Costa Rica)* 17(3-4):249-257; 381-387. 1967.
31. LEVITT, J. A. A sulfhidril-disulfide hypothesis of frost injury and resistance in plant. *Journal Theoretical Biology* 3:335-391. 1962.
32. LOAYZA, J. M. Respuesta de tres variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a tres tensiones osmóticas en soluciones nutritivas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 75 p. (mimeografiada).
33. MACHICADO, M. y ALVIN, P. de T. Sintomatología de las deficiencias minerales de cacao. *Turrialba (Costa Rica)* 4(3-4): 155-163. 1954.
34. MALAGAMBA, J. P. Respuesta de compensación fisiológica del frijol (Phaseolus vulgaris L.) al desbalance de agua provocado por salinidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 95 p. (mimeografiada).

35. MARIANO, A. H. Relaciones entre algunas medidas de vigor y producción en cacao. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1966. 41 p. (mimeografiada).
36. MEIRI, A. y POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of variations in substrate salinity of the water balance and ionic composition of bean leaves. *Israel Journal of Botanic* 18(3):99-112. 1969.
37. MULLER, L. E. Un aparato Micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. *Turrialba (Costa Rica)* 11(1):17-25. 1961.
38. NUNES, M. A. Un estudio comparativo de resistencia a secura em cacaeiros. *Estudos Agronômicos (Portugal)* 8(3):113-118. 1967.
39. NYA NGATCHOU, J. y LATODE, R. Variabilité de la précocité chez les premiers hybrides obtenus au Cameron et recherche d'une corrélation entre le diamètre des troncs a un age donne et la précocité des hybrides. *In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, 1967. Memórias. Bahía, Brasil, CEPLAC, 1969. pp.*
40. OYEBADE, I. T. A comparative growth analysis study of four cocoa varieties. *Turrialba (Costa Rica)* 22(3):275-281. 1972.
41. PAEZ, G. Notas de clase de diseño y técnica de experimentos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. p. irr.
42. QUIROGA, G. V. Patrón de variabilidad de la producción de cacao en la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 84 p. (mimeografiada).
43. RODRIGUEZ, R. M. et al. Nutritional requirements of the cacao plant during a yearly cycle. *Cacao (Turrialba)* 8(4):1-10. 1963.
44. RUSSELL, T. A. The vigour of some cacao hybrids. *Tropical Agriculture* 29(4-6):102-106. 1952.
45. SORIA, J. V. y ESQUIVEL, O. Estudio preliminar sobre el período mínimo confiable de producción en cacao para su uso en experimento de evaluación de cultivares. *Cacao (Costa Rica)* 12(4):9-14. 1967.
46. _____ y ESQUIVEL, O. Algunos resultados del programa de mejoramiento genético de cacao en el IICA-Turrialba. *In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Brasil, 1967. Memórias. Bahía, Brasil, CEPLAC, 1969. pp. 35-41.*

47. SORIA, J. V. y ESQUIVEL, O. Relationship between precocity, growth and yield in cacao. Turrialba (Costa Rica) 20(2): 193-197. 1970.
48. STEEL, R. G. D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
49. VELLO, F. Estudio preliminar sobre la influencia del origen de los padres en la expresión del vigor híbrido en plántulas de cacao. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 61 p. (mimeografiada).
50. _____ et al. O programa de melhoramento genético do cacau na Bahía. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, 1967. Memórias. Bahía, Brasil, CEPLAC, 1969. pp. 35-42.

9. A P E N D I C E

Cuadro 1. Cuadrados medios de la tasa de incremento para el área foliar (cm²), altura (cm) y diámetro (mm) del tallo.

Fuente de Variación	C U A D R A D O S M E D I O S			
	gl	Area foliar	Altura del tallo	Diámetro del tallo
Tratamientos	15	0,213 +	0,349 ++	0,103 ++
Cultivares	3	0,413 +	0,070 ns	0,021 ns
Tensiones osmóticas	3	0,320 +	1,571 ++	0,406 ++
C x T. osmóticas	9	0,111 ns	0,034 ns	0,030 ns
Error	64	0,106	0,033	0,025
Total	79			

+ Significativo al 5%
 ++ Significativo al 1%
 ns No significativo

Cuadro 2. Cuadrados medios de los valores observados para volumen de raíces (ml), peso seco (g) de hojas, tallos y raíces; absorción de agua (ml/pl) en cuatro cultivares de cacao bajo cuatro tensiones osmóticas.

F de V	gl	C U A D R A D O S				M E D I O S			
		VR	PSH	PST	PSR	A	A		
Tratamientos	15	928,33	41,42	7,04	6,53	1492,99	++		
Cultivares (C)	3	621,54	35,31	3,01	5,99	7789,86	++		
A vs B	1	1070,92	58,72	4,86	7,69	16594,56	++		
A1 vs A2	1	282,49	39,50	2,22	3,25	5851,56	++		
B1 vs B2	1	511,22	7,72	1,95	2,42	923,52	ns		
T. osmóticas (TO)	3	3562,99	163,70	30,46	26,68	63489,45	++		
Lineal	1	9454,65	458,52	78,68	72,55	64073,60	++		
Cuadrático	1	1355,48	32,36	12,45	7,56	26462,81	++		
Cúbico	1	23,04	0,09	0,24	0,00	0,27	ns		
Cultivares x T. osm.9	9	152,37	2,20	0,80	0,50	1111,88	ns		
Error	64	43,89	1,59	0,29	0,27	482,49			
Total	79								

A = Alta producción
 B = Baja producción
 A1 = Pound-12 x Catongo
 A2 = Catongo x Pound-12
 B1 = UF-221 pol. lib.
 B2 = Matina pol. lib.
 PSH = Peso seco de hojas (g)

AA = Absorción de agua (ml/pl)
 PST = Peso seco del tallo (g)
 PSR = Peso seco de raíces (g)
 VR = Volumen de raíces (ml)
 + = Hay diferencia significativa al 5%
 ++ = Hay diferencia significativa al 1%
 ns = Sin diferencia significativa

Cuadro 3. Cuadrados medios para la absorción de N, P, K, Ca y Mg (mg/pl) en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía.

Fuente de Variación	gl	C U A D R A D O S				M E D I O S	
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	
Tratamientos	15	17476,25 ++	1894,908 ++	27136,127 ++	5494,337 ns	1740,867 ++	
Cultivares	3	10542,92 +	4049,043 ++	15358,482 +	5503,874 ns	716,254 ns	
T. osmóticas	3	58339,23 ++	4655,030 ++	93223,167 ++	5988,728 ns	5701,517 ++	
Cultivares x T osmóticas	9	6166,37 ns	256,823 ns	9032,995 +	5326,362 ns	762,188 +	
Error experimental	48	2908,08	780,673	3105,289	3669,071	307,272	
Subtotal	63						
Error muestral	128						
Total	191						

+ Significativo al 5% de probabilidad
 ++ Significativo al 1% de probabilidad
 ns No significativo

Cuadro 4. Cuadros medios del contenido de azufre y sodio (%) en hojas y tallos de cuatro plantas por tratamiento y por cultivar.

Fuente de Variación	Cuadros Medios						
	gl	Azufre			Sodio		
		Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos
Tratamientos	15	0,272 ++	0,387 ++	2,289 ++	2,415 ++		
Cultivares	3	0,086 ++	0,019 ns	0,249 ++	0,250 ns		
T. osmóticas	3	1,162 ++	1,778 ++	11,014 ++	11,198 ++		
C x T. osmóticas	9	0,037 +	0,046 ns	0,061 ns	0,209 ns		
Error	48	0,012	0,029	0,045	0,139		
Total	63						

+ Significativo al 5% de probabilidad

++ Significativo al 1% de probabilidad

ns No significativo

Cuadro 5. Porcentaje (%) medio del contenido de azufre y sodio en hojas y tallos de plantas testigos y tratadas.

	Azufre			Sodio		
	Hojas	Tallos	Promedio	Hojas	Tallos	Promedio
Testigo	0,239	0,276	0,258	0,138	0,200	0,169
Tratadas	0,587	0,721	0,327	1,611	1,327	0,720
Promedio	0,413	0,499		0,875	0,764	

Cuadro 6. Datos basados en la suma algebraica para la absorción de nitrógeno y fósforo (3 muestras) de la solución nutritiva en cuatro cultivos de cacao bajo condiciones de sequía.

Cultivos	NITROGENO			FOSFORO						
	Tratamientos (bares)			Tratamientos (bares)						
	0,70 ^{1/2}	4,90	7,00	0,70 ^{1/2}	4,90	7,00				
	\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}					
Pound-12 x										
Catongo	181,05+	159,38	75,41++	39,45++	113,82	55,35	39,86	31,01+	18,79+	36,25
Catongo x										
Pound-12	196,65	141,98	76,28++	82,01+	124,23	38,57	24,34+	13,83++	13,35+	22,55
UF-221										
(pol. lib.)	154,61	118,69+	93,94+	96,04+	115,82	43,31	26,55	22,71+	16,16++	27,18
Matina										
(pol. lib.)	106,65+	81,19++	88,16+	64,01+	85,00	19,46+	12,45++	11,81++	7,61++	12,83
Promedio	159,74	125,31	83,45	70,38		39,20	25,80	19,84	14,05	

^{1/2} Tensión osmótica normal de la solución nutritiva Hoagland No 2 (testigo).

+ Datos ligeramente afectados por absorción negativa

++ Datos muy afectados por absorción negativa

Cuadro 7. Datos en base de la suma algebraica para absorción (mg/pl) de potasio y calcio (3 muestras) de la solución nutritiva en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía.

Cultivares	POTASIO		CALCIO	
	Tratamientos (bares)		Tratamientos (bares)	
	0,70 ^{1/}	2,80	4,90	7,00
		\bar{X}	2,80	7,00
Pound-12 x				
Catongo	158,76+	- 56,21	-162,25	-234,99
			- 73,67	88,20+
			63,79+	36,21++
			- 1,58	46,66
Catongo x				
Pound-12	81,59++	- 73,56	-229,48	-238,92
			-115,09	93,49
			111,04+	79,54+
			88,99+	93,27
UF-221				
(pol. lib.)	9,92++	-101,91	-185,38	-233,42
			-127,70	97,65+
			81,12	47,93+
Matina				
(pol. lib.)	11,76++	-165,56	-201,92	-239,72
			-148,86	- 8,02
			93,55+	70,09+
			52,78++	52,10
Promedio	65,51	- 99,31	-194,76	-236,76
			67,83	87,38
			58,44	48,48

^{1/} Tensión osmótica normal de la solución nutritiva Hoagland Nº 2 (testigo).

+ Datos ligeramente afectados por absorción negativa.

++ Datos muy afectados por absorción negativa

Cuadro 8. Datos basados en la suma algebraica para absorción de magnesio. (3 muestras) de la solución nutritiva en cuatro descendencias de cacao bajo condiciones de sequía.

Cultivares	Magnesio				Promedio
	Tratamientos (bares)				
	0,70 ^{1/}	2,80	4,90	7,0	
Pound-12 x Catongo	42,88+	26,35+	19,88+	13,36	25,62
Catongo x Pound-12	50,36	22,20	- 1,61	6,84++	19,45
UF-221 (pol. lib.)	24,77+	26,94	26,74+	10,51++	22,24
Matina (pol. lib.)	33,91+	10,80++	15,13++	- 3,39	14,11
Promedio	37,98	21,57	15,04	6,83	

^{1/} Tensión osmótica normal de la solución nutritiva Hoagland Nº 2.

+ Datos ligeramente afectados por absorción negativa.

++ Datos muy afectados por absorción negativa.

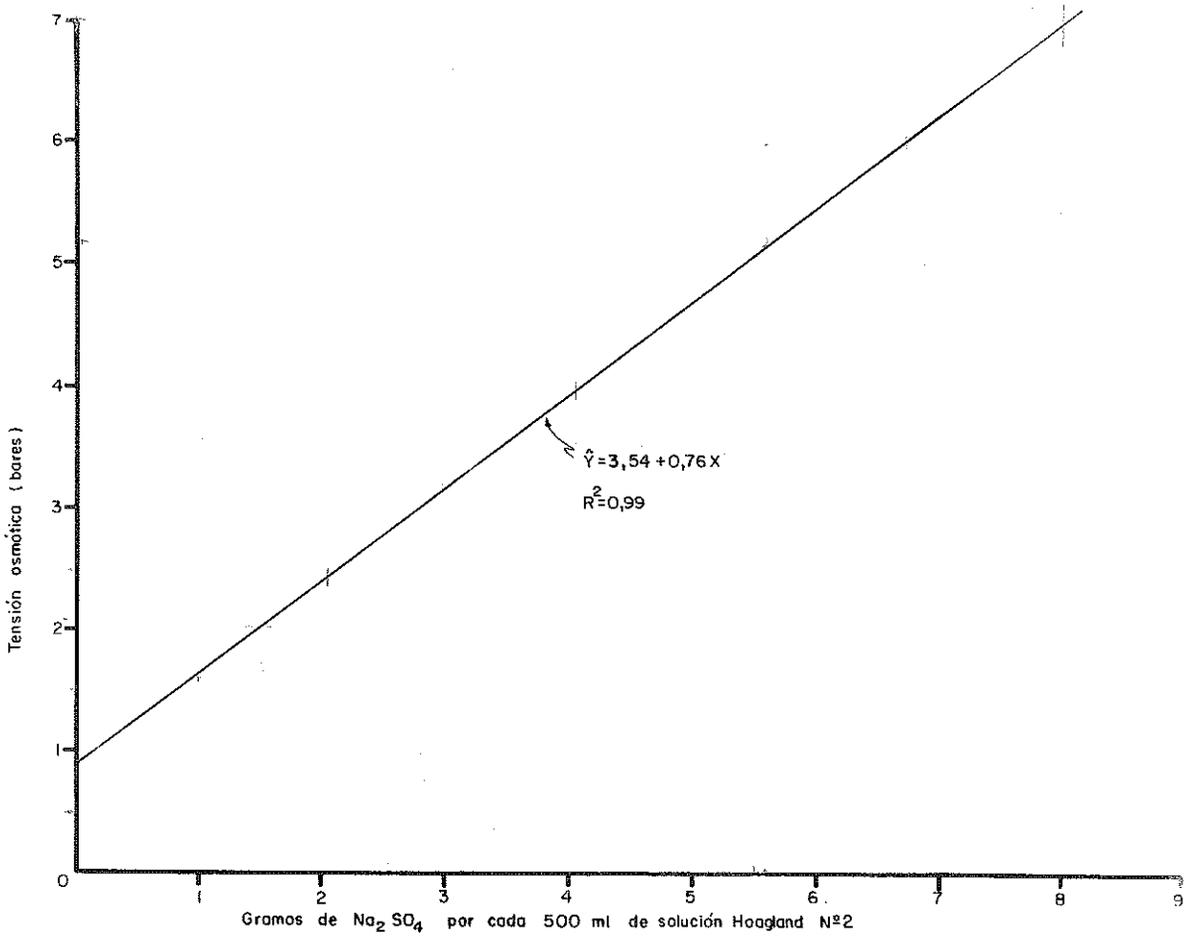


Fig. 1 Curva de tensiones osmóticas correspondiente a diferentes concentraciones de Na_2SO_4 en solución Hoagland Nº2

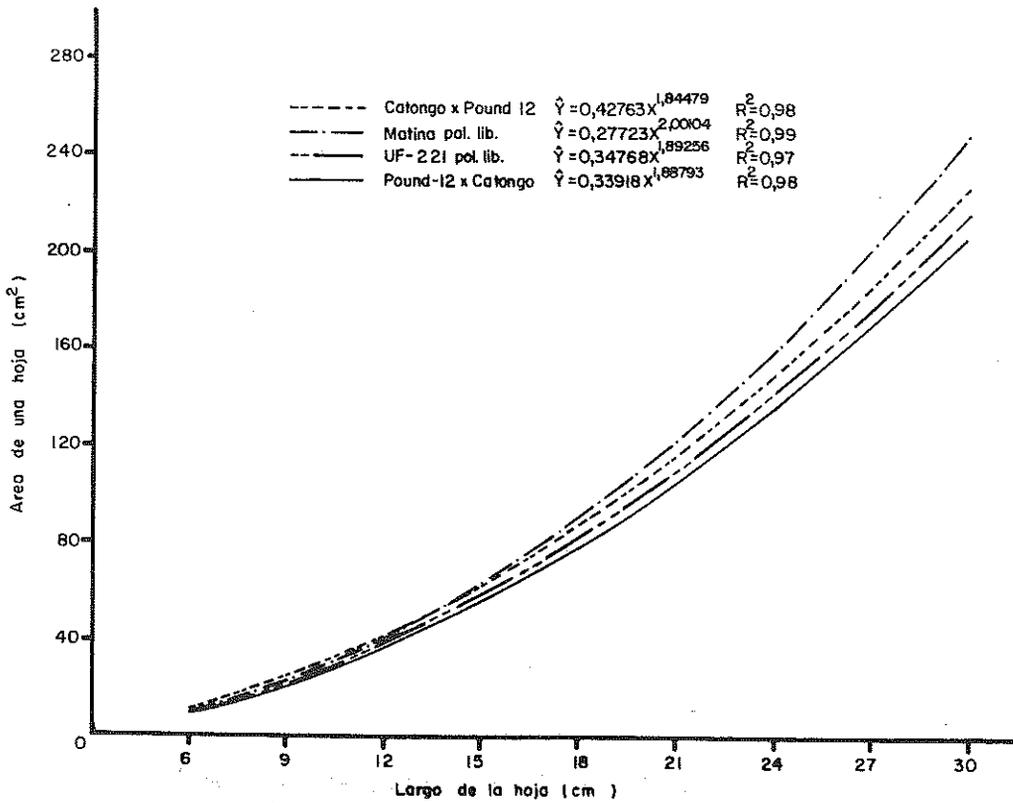


Fig. 2 Curvas de área foliar en función del largo de la hoja en cuatro cultivares de cacao

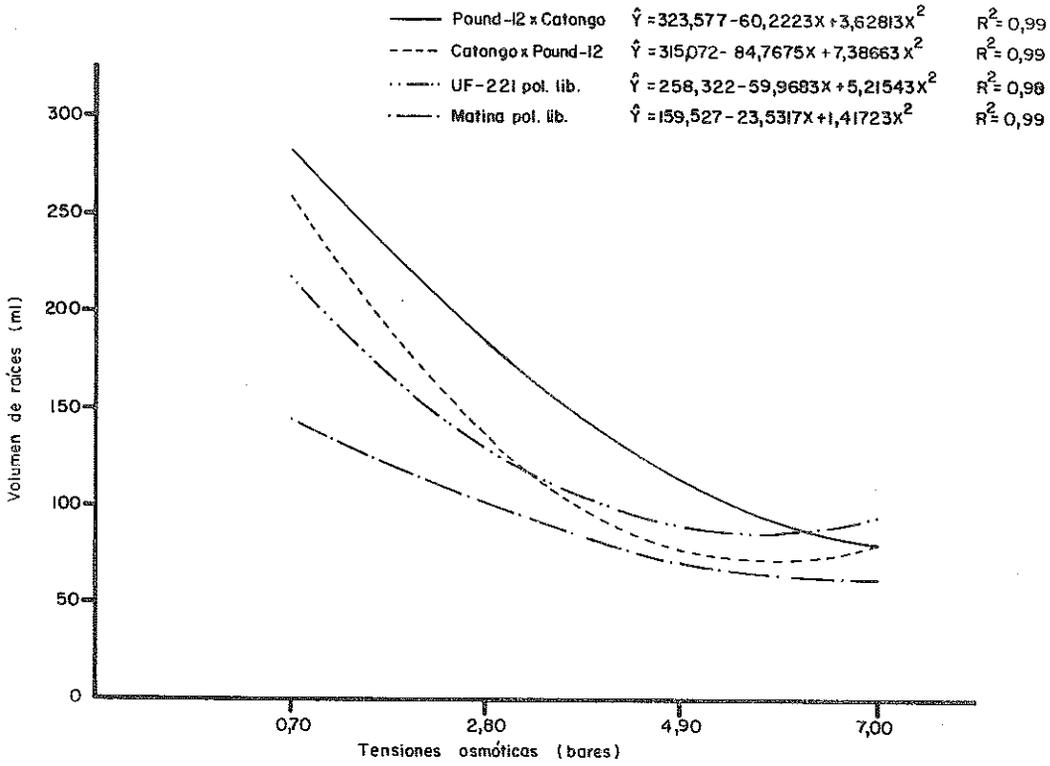


Fig. 3 Curva del volumen de raíces en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía

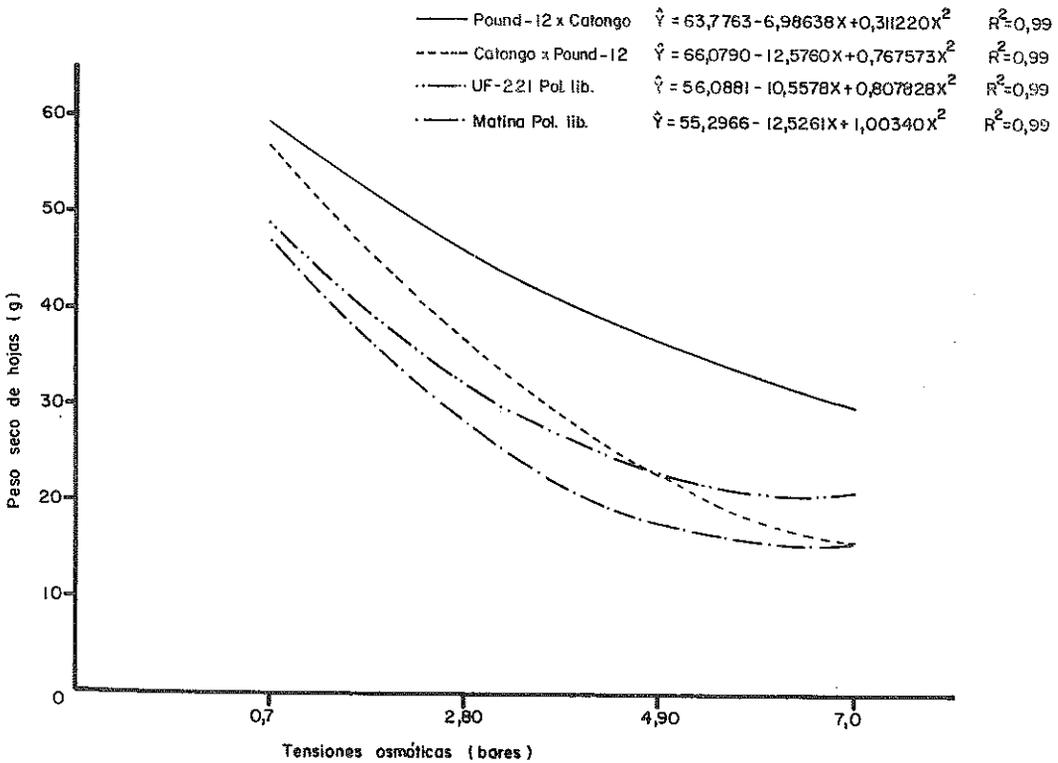


Fig. 4 Curvas del peso seco de las hojas en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía

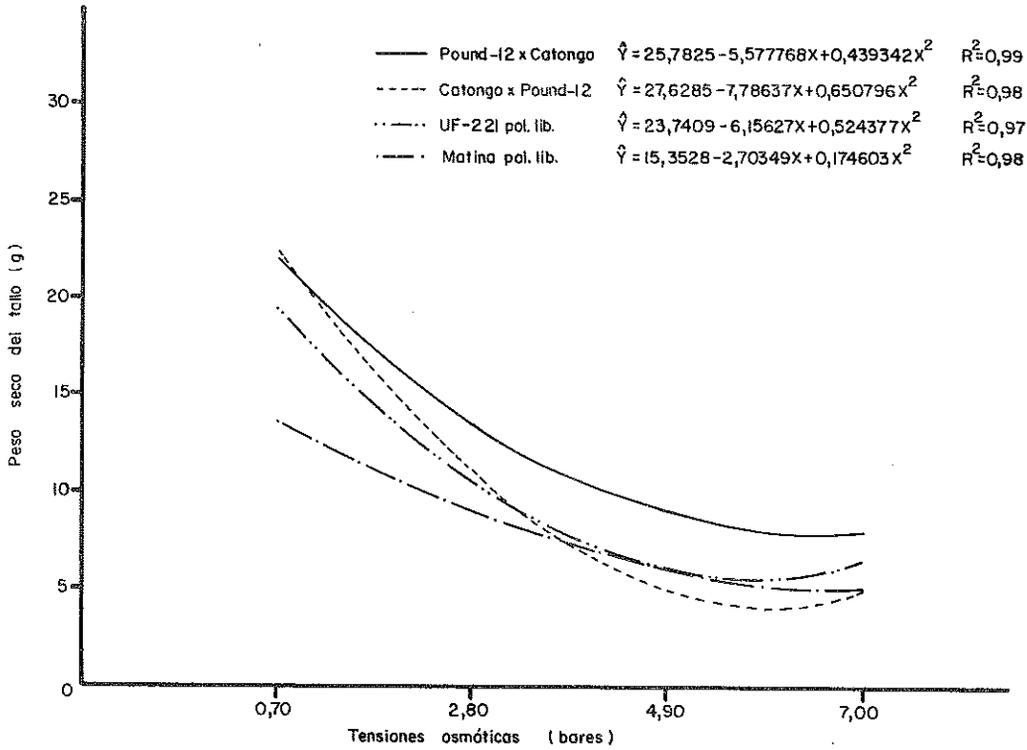


Fig. 5 Curvas del peso seco del tallo en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía

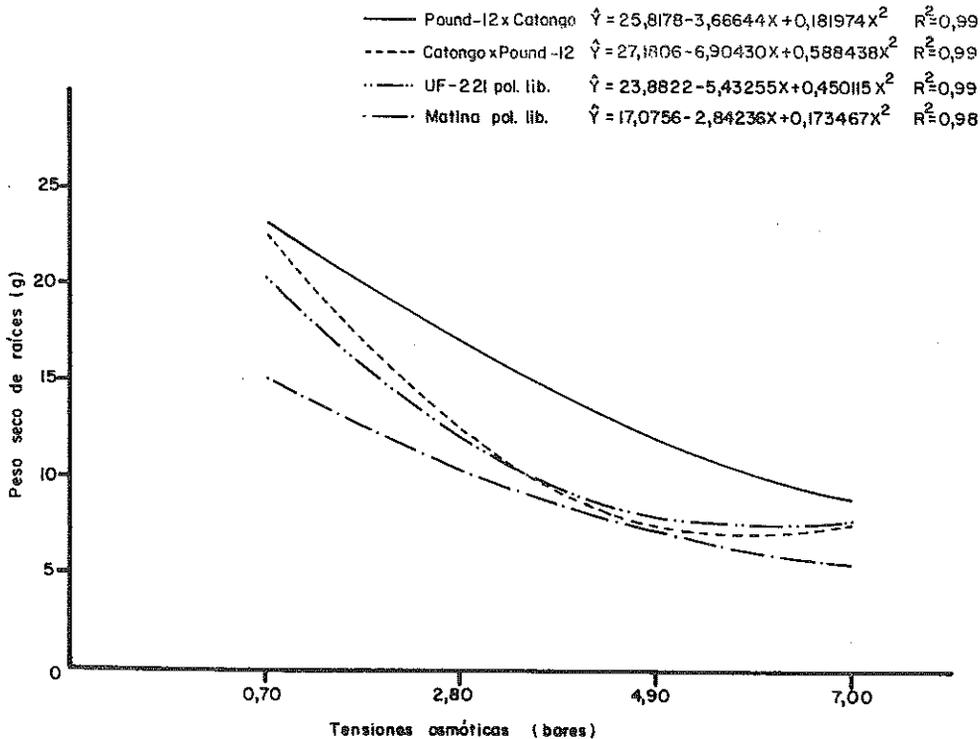


Fig. 6 Curva del peso seco de raíces en cuatro cultivares de cacao bajo condiciones de sequía

- UF-221 pol.lib. $\hat{Y} = 945,445 - 242,93X + 20,8050X^2$ $R^2 = 0,99$
- Matina pol.lib. $\hat{Y} = 839,031 - 208,830X + 17,2222X^2$ $R^2 = 0,99$
- Catongo x Pound-12 $\hat{Y} = 1263,04 - 357,644X + 29,8357X^2$ $R^2 = 0,99$
- Pound-12 x Catongo $\hat{Y} = 1130,74 - 211,736X + 14,6654X^2$ $R^2 = 0,99$

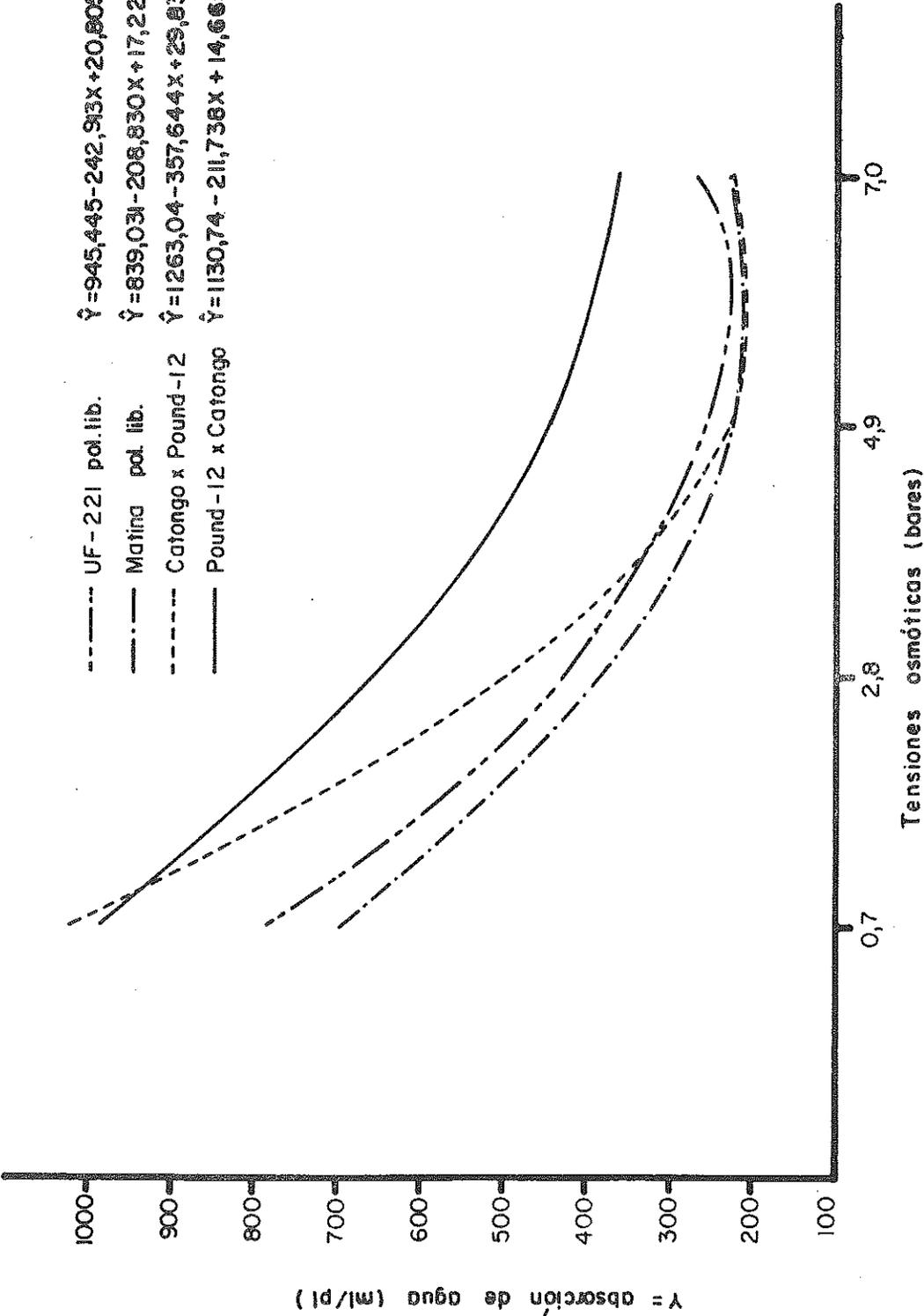


Fig. 7 Curvas de absorción de agua en cuatro cultivares de cacao, bajo condiciones de sequía

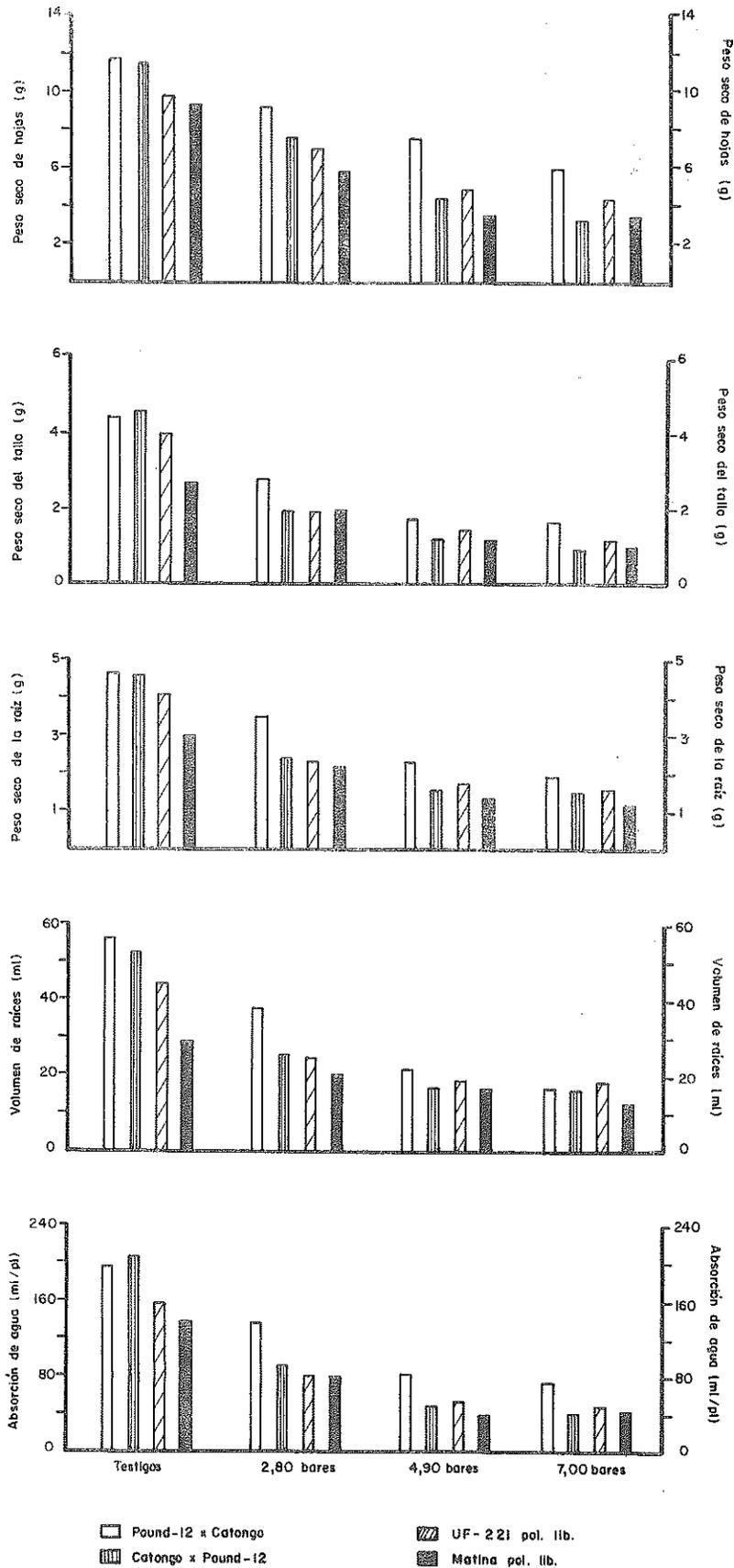


Fig. 8 Representación gráfica de promedios obtenidos de cinco plantas por tratamiento (tensiones osmóticas) de varias características observadas en cuatro cultivares de cacao