

## COMPORTAMIENTO DE INTRODUCCIONES DE *Coffea* SOMETIDAS A CONDICIONES DE DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO

Francisco Javier Orozco-Castaño \*  
Alvaro Jaramillo-Robledo \*\*

### INTRODUCCION

En los cultivos de café a plena exposición solar, ocurren modificaciones frecuentes en el microambiente que rodea las plantas, ocasionadas por la incidencia directa de las condiciones meteorológicas y sus variaciones. Todo lo contrario ocurre en cafetales bajo sombra, en los cuales las condiciones microclimáticas son más estables.

En las áreas bajas y en algunas regiones de la zona cafetera colombiana, se presentan períodos prolongados de sequía. Las temperaturas altas aceleran la pérdida de agua por la planta y por el suelo, con mayor intensidad si los cultivos están a libre exposición solar y si el suelo tiene baja capacidad de retención de agua.

---

\* Asistente de la Sección de Fitomejoramiento del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\* Asistente de la Sección de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas Colombia.

En estas regiones, se tienen varias alternativas para contrarrestar los efectos del déficit hídrico, como pueden ser: la reducción de la evapotranspiración mediante el uso de sombrero; el suministro adicional de agua al suelo; el mejoramiento de la capacidad de retención de agua del suelo que rodea las raíces; o el uso de plantas que, por sus características anatómicas y fisiológicas, toleren la sequía.

En general, una reducción del potencial de agua en la planta, trae como resultado una alteración en los procesos de fotosíntesis y transpiración y modificaciones a nivel histológico y morfológico. Numerosos autores han estudiado el efecto de la sequía en diferentes cultivos y han descrito alteraciones tales como el cierre de los estomas (2, 6, 7, 15, 19, 20, 23, 26); restricción en la división, alargamiento y diferenciación celular en raíces, hojas y tallos (1, 26, 29); mayor espesor de las nervaduras, menor tamaño de los estomas y menor tamaño de las células epidermales y del mesófilo (23); defoliación (5, 24); reducción en el diámetro del tallo (5, 29); reducción del sistema radical (1, 15, 29) y aumento de la temperatura foliar (2, 10, 25, 29). Algunos otros efectos del déficit de agua en las plantas, están ampliamente considerados en varias revisiones (12, 14, 27, 28).

Debido al numeroso grupo de factores que intervienen, ha habido disparidad de criterios cuando se quiere clasificar las reacciones de las plantas al déficit de humedad; por esta razón se han usado varios términos para designar estas reacciones: "escape, evasión, tolerancia, resistencia, verdadera resistencia y xerofitismo" (1, 18).

Los estudios de resistencia del café a la sequía han sido enfocados tratando de determinar cuáles son las características fisiológicas y morfológicas de los materiales con algún grado de resistencia; se han comparado unas pocas variedades dentro de las especies comerciales más importantes. De una manera general, el café es moderadamente resistente a la sequía (2, 24).

En variedades de *C. arabica*, Nunes y Duarte (21), evaluaron la resistencia a la sequía en plántulas de las selecciones K7 de Kenya y H66 de Tanganyka y no encontraron diferencia; posteriormente Nunes (20), evaluó la resistencia a la sequía de las selecciones K7 de Kenya, Harrar del Brasil y K9 de Tanganyka, encontrando en esta última, resistencia a la desecación.

Gindel (11), estudió y describió el efecto de las condiciones semi-áridas de Israel sobre los procesos, especialmente anatómicos y morfológicos, que ocasionan reducción y modificación de los órganos y tejidos aéreos, en variedades de *C. arabica*.

Franco e Inforzato (9) y Franco (8), estudiaron la transpiración en *C. arabica* al sol y a la sombra relacionándola con el área foliar.

En *C. canephora*, Boyer (3), partiendo del reconocimiento y zonificación hechos por Lemee y Boyer (16), en Costa de Marfil, estableció y estudió dos grupos de *Coffea canephora*: El Kouillou de Touba y el Robusta de INEAC, considerados respectivamente como el más resistente y el más susceptible a los efectos de la sequía; encontraron que la intensidad de la transpiración de los estomas y de la cutícula de las hojas de Kouillou (resistente) es menor que la del Robusta (susceptible). Las hojas del Kouillou sobreviven más tiempo cuando son privadas de agua. En condiciones de suelo seco, el Kouillou presenta un déficit hídrico menor que le permite la prolongación del crecimiento durante un período de secamiento continuo.

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de un grupo de introducciones de *C. canephora*, *C. congensis* y *C. arabica*, sometidas a períodos prolongados de déficit de humedad en el suelo, con respecto a una serie de caracteres anatómicos y citológicos.

## MATERIALES Y METODOS

El ensayo se instaló en invernadero, con plántulas de cuatro meses, sembradas en bolsas de polietileno de dos kilogramos de capacidad, en suelo formado por una mezcla de tierra y pulpa de café descompuesta, en la proporción 1:1. En la tabla 1 se describen las especies y variedades utilizadas.

El diseño empleado fue el de parcelas al azar, con cinco plantas de cada introducción, para cada uno de los siguientes tratamientos:

- T1: Testigo con riego cada tercer día, durante todo el ensayo.
- T2: Sin riego durante un mes y luego un mes con riego.
- T3: Sin riego durante mes y medio y posteriormente riego durante 15 días.

Todo el material se sometió a 15 días iniciales de adaptación, con riego permanente a capacidad de campo; luego se iniciaron los tratamientos.

El estudio de los resultados se realizó con base en las siguientes medidas y observaciones: grado de marchitez, altura de la planta, número y longitud de los entrenudos, peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces, medidas de hojas y raíces, defoliación, número y longitud de los estomas, número de cloroplastos en los estomas y peso y humedad del suelo.

TABLA 1.- MATERIAL DE *Coffea canephora*, *C. congensis* Y *C. arabica* UTILIZADO EN EL ENSA-  
YO DE EVALUACION EN CONDICIONES DE DEFICIT DE HUMEDAD DEL SUELO.

Especie	Introducción	Nº de Turrialba
<i>C. canephora</i>	Robusta El Salvador	T - 2944
"	L - 251	T - 3565
"	L - 48	T - 3561
"	Quillou	T - 2399
"	Pichilingue	T - 3634
<i>C. congensis</i>	Centro	
<i>C. canephora</i>	Ceilán	T - 3479
"	BP - 358	T - 5117
"	Ugandae Puerto Rico	T - 2535
"	SA - 158	T - 3581
"	Robusta Ceilán	T - 3483
"	CRRC 1/8	T - 4097
"	SA - 13	T - 3757
"	BP - 39	T - 3753
"	Ugandae Africa	T - 3696
"	Laurentii	T - 2402
"	SMES - 2	T - 3724
<i>C. congensis</i>	Forest Type	T - 2678
<i>C. canephora</i>	SA - 34	T - 3758
<i>C. arabica</i> var.	Borbón	-
" "	San Bernardo	-
" "	Catuai Rojo	-
" "	Típica	-
" "	Caturra rojo	-
" "	Mundo Novo Brasil	-

Para cada variable se hizo un análisis de varianza simple que comparaba los valores obtenidos en una fecha dada.

Finalmente se calculó el índice de tolerancia a la sequía (I. T.) según la fórmula utilizada por el CIAT (4) la cual se expresa:

$$I. T. = \frac{\text{Rendimiento en la parcela tratada (A)}}{\text{Rendimiento en la parcela tratada (A) + rendimiento en el testigo (B)}} \times 100$$

Es decir, valores de I. T. significativamente menores del 500/0 indican que hubo efecto del tratamiento en la parcela comparada.

## RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se describe cada una de las observaciones y medidas tomadas en las parcelas sometidas a tratamientos de sequía durante un mes (T2) y durante mes y medio (T3) comparadas con los testigos (T1). El promedio de las condiciones meteorológicas, durante el tiempo que permaneció el ensayo se presenta en la tabla 2.

Los registros de temperatura dentro del invernadero fueron superiores a la temperatura ambiente en 1,0 a 2,0 °C, aproximadamente; esta diferencia se explicaría por una menor circulación del aire y por la retención de la radiación infrarroja dentro del invernadero, debida al vidrio.

Los valores de evaporación presentaron un promedio de 3,9 mm siendo el valor diario más frecuente entre 3,1 mm y 4,0 mm. La evaporación total fue de 178,3 mm. El valor total de evapotranspiración potencial, calculado mediante la fórmula de García-López, estuvo muy próximo al de evaporación con un valor de 172,5 mm y un promedio diario de 3,24 mm, con valores extremos entre 4,72 mm y 1,86 mm.

La humedad relativa registrada dentro del invernadero, en general fue alta con un valor promedio de 80% y valores extremos entre 67% y 94%; la humedad relativa diaria más frecuente durante el ensayo estuvo entre 75 y 80%.

TABLA 2.- CONDICIONES METEOROLOGICAS REGISTRADAS DENTRO Y FUERA DEL INVERNADERO, DESDE EL 24 DE OCTUBRE HASTA EL 15 DE DICIEMBRE DE 1975.

	Temperatura media		Temperatura máxima		Temperatura mínima	
	Invernadero	Ambiente	Invernadero	Ambiente	Invernadero	Ambiente
Promedio	20,9	19,4	27,2	25,7	17,1	16,0
Mayor valor	23,8	21,8	31,4	30,6	18,6	17,7
Menor valor	18,2	16,9	23,0	20,0	14,2	13,2
	<b>Evapotranspiración</b>					
	<b>Brillo solar (horas)</b>		<b>(mm) (García-López)</b>		<b>Humedad relativa (°/°)</b>	
					<b>Invernadero</b>	
Promedio	3,9		3,24		80	
Mayor valor	9,6		4,72		94	
Menor valor	0,0		1,86		67	

El brillo solar registrado en la estación meteorológica próxima fue de 205,1 horas durante el ensayo (2 meses), con un valor promedio de 3,9 horas diarias y valores extremos que variaron entre 9,6 y 0,0 horas de brillo; el 52,8% de los días del ensayo presentaron menos de tres horas de brillo solar.

### Calificación de la marchitez.

La calificación del grado de marchitez, se hizo día de por medio durante todo el período de los tratamientos, de acuerdo con la siguiente escala:

<u>Calificación</u>	<u>Estado de la planta</u>
0	Sin síntomas visibles de marchitez.
1	Síntomas leves de marchitamiento en las hojas nuevas (brotes); pérdida de turgidez.
2	Brotes y primer par de hojas con marchitamiento.
3	30% de las hojas marchitas.
4	50 - 60% de hojas marchitas, reseca y con síntomas iniciales de enrollamiento.
5	100% de hojas marchitas, reseca y quemadas; caída de hojas.

En general, los síntomas externos de marchitez aparecieron primero en plantas de *C. arabica*. Dentro de cada especie la respuesta fue diferente dependiendo de la variedad y dentro de las variedades, especialmente de *C. canephora*, hubo variación entre plantas (tabla 3).

Solo hubo manifestaciones externas de marchitez después de 19 días sin riego, en las variedades Borbón y Típica y después de 26 días sin riego en las introducciones *C. congensis* (C), BP-358, CRRC 1/8 y Laurentii.

Un mes sin riego (T2), afectó severamente a las variedades Borbón y San Bernardo. En las restantes, la recuperación de la turgidez ocurrió inmediatamente después de reiniciado el riego, como se verá al analizar las demás variables medidas.

En *C. canephora*, ninguna introducción mostró en promedio, una calificación superior a 3, aún cuando una planta de la introducción BP-358 se quemó totalmente, obteniendo 5 como calificación a los 33 días sin riego, y no mostró recuperación una vez reiniciado éste.

Las introducciones BP-39, SA-34 (*C. canephora*); la Forest Type (*C. congensis*); y la variedad Catuai rojo (*C. arabica*) no mostraron síntomas de marchitez, aún con 33 días sin riego.

TABLA 3.- CALIFICACION DEL GRADO DE MARCHITEZ EN INTRODUCCIONES DE *C. canephora*, *C. congensis* Y VARIEDADES DE *C. arabica* PARA DOS TRATAMIENTOS, 33 Y 47 DIAS SIN RIEGO. PROMEDIO DIARIO POR INTRODUCCION.

Introducciones	T 2							T 3												
	19	21	23	26	28	30	33	19	21	23	26	28	30	33	35	37	40	42	44	47
	Días sin riego							Días sin riego												
<b>CANEPHORAS</b>																				
El Salvador	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	2	2	2	2	4	5	4	4
L - 251	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	4	4	4	5	5	5	5
L - 48	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	2	2	2	4	4	5	4	4
Quillou	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	2	2	2	3	4	4	5	4	5	
Pichilingue	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	1	1	2	2	3	4	4	4	4
<i>C. congensis</i> (C)	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	2	1	3	3	4	4	5	5	5
Ceilán	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	1	1	1	2	3	3	5	4	5
BP - 358	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	2	2	3	3	4	4	4	4	4
Ugandae Puerto Rico	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	0	1	3	4	4	5	4	5
SA - 158	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	1	1	1	3	3	4	4	4	4
Robusta Ceilán	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2
CRRC 1/8	0	0	0	1	2	2	3	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	4	4	4
SA - 13	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	4	4
BP - 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	3	5	3	4
Ugandae Africa	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	3	3
Laurentii	0	0	0	1	2	1	2	0	0	0	1	1	2	2	3	4	4	5	5	5
SMES - 2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	4	4	4
<i>C. congensis</i> (F.T)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	5	5
SA - 34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	4	4
Promedio	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	2	3	4	4	4	4
<b>ARABIGOS</b>																				
Borbón	1	2	2	4	5	4	5	1	1	1	3	5	4	4	4	4	5	5	5	5
San Bernardo	0	0	0	1	3	3	4	0	0	0	0	2	1	2	4	4	4	5	4	4
Catuai rojo	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	2	3
Típica	1	1	0	1	3	3	3	0	0	0	0	1	1	1	3	3	3	4	3	4
Caturra rojo	0	0	0	1	3	3	3	0	0	0	1	3	3	3	3	4	4	5	5	5
Mundo Novo Brasil	0	0	0	1	2	1	2	0	0	0	1	2	2	2	3	3	4	5	5	5
Promedio	0	0	0	1	3	2	3	0	0	0	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4

Se concluyó, que bajo las condiciones de este ensayo, hubo introducciones que toleraron 33 días sin riego, sin presentar síntomas drásticos de marchitez.

Después de los 33 días sin riego (T3), el proceso de marchitez se acelera; así, a los 47 días de sequía solo las introducciones Robusta Ceilán y Ugandae Africa, presentaban cada una, una planta sin síntomas visibles de marchitez. En estas introducciones y en la variedad Catuai rojo, las plantas permanecieron la mayor cantidad de tiempo sin mostrar síntomas de marchitez (tabla 4).

Además de las introducciones descritas, la CRRC 1/8, la SMES-2 y la variedad Típica, tuvieron dos plantas, cada una, con calificación 3, después de 47 días sin riego. Diecisiete plantas de *C. canephora*, pertenecientes a 12 de las 19 introducciones, tuvieron después de 45 días sin riego, calificación de 3 ó menos.

En *C. arabica*, seis de las siete plantas con calificación 3 ó menos, pertenecen a las variedades Catuai (cuatro plantas) y Típica (dos plantas).

TABLA 4.- CALIFICACIONES DE MARCHITEZ EN PLANTAS CON MAS DE 33 DIAS SIN RIEGO. MEJORES INTRODUCCIONES.

Introducciones	Planta Nº	Días sin riego						
		33	35	37	40	42*	44	47
Robusta Ceilán T - 3483	1	0	0	0	0	1	0	1
	2	0	0	0	1	1	1	1
	3	0	0	0	0	0	0	0
	4	1	1	4	4	5	4	5
	5	3	4	5	5	5	5	5
	Promedio	1	1	2	2	2	2	2
Canephora Ugandae Africa T - 3696	1	1	3	4	4	5	5	5
	2	0	0	0	1	3	1	2
	3	0	0	0	0	1	0	0
	4	1	1	4	4	4	4	5
	5	1	2	4	4	4	4	4
	Promedio	1	1	2	3	3	3	3
<i>C. arabica</i> Catuai rojo	1	0	3	3	4	4	4	4
	2	0	0	0	1	3	1	2
	3	0	0	0	1	3	1	2
	4	0	0	0	2	3	1	2
	5	0	0	1	3	4	3	3
	Promedio	0	1	1	2	3	2	3

\* Calificación hecha a la 1 p.m.

Las calificaciones de marchitez son un buen índice de la gravedad del daño causado por la deficiencia de agua en el suelo y un criterio que se puede adoptar para separar las plantas tolerantes a períodos prolongados sin riego. Esta medida unida a los registros de caída de hojas, altura de la planta y muestreo de peso seco, estado y color de las raíces, conforman un grupo de características que permiten describir y cuantificar los grados externos de marchitez y sus efectos sobre algunos órganos.

En los resultados que se presentan en adelante, las discusiones se han hecho con base en los promedios generales, obtenidos con todo el material estudiado (canephoras y arabigos). Los efectos generales de los tratamientos se comparan en el texto por medio de porcentajes relativos a los testigos. En la tabla sólo se presentan los valores reales, promedio para cada uno de los grupos.

#### Altura de las plantas (Tabla 5).

La altura de la planta, se midió en centímetros desde el cuello de la raíz hasta el extremo apical del tallo. Con base en estas medidas se calculó el crecimiento de cada planta en un período dado. La altura inicial de las plantas era muy homogénea en todos los tratamientos.

La parcela en la cual se suspendió el riego durante un mes (T2) creció un 43% menos que la parcela con riego permanente (T1); al regar de nuevo la parcela que estuvo un mes sin riego (T2), durante los primeros 15 días el crecimiento fue más rápido que en los testigos (70% más); hubo un estímulo al reiniciar el riego. Las plantas con un mes de riego, posterior al tratamiento, solo difirieron de los testigos en un 120% de su altura. El tratamiento no tuvo efecto sobre la altura final de las introducciones L-48, Quillou, Ugandae Africa, *C. congensis* (Ft) y de las variedades San Bernardo y Caturra rojo.

Lo anterior concuerda con lo anotado por Boyer (3) para el Kouillou, el cual presentó buena facultad para recuperarse e iniciar su desarrollo después de una suspensión prolongada de la actividad vegetativa.

En las plantas que permanecieron sin riego durante mes y medio (T3), en los primeros 30 días se redujo su crecimiento en 42,40% (comportamiento similar al T2); después del mes sin riego, el crecimiento se detuvo y debido a la deshidratación y secamiento de los tejidos ocurrió una reducción en el tamaño de la mayoría de los tallos. En general, las plantas de esta parcela dejaron de crecer un 70%, respecto al crecimiento de los testigos, en los últimos 15 días de tratamiento. Al regar de nuevo las plantas, los tejidos se rehidrataron y en algunos casos se reinició el crecimiento pero no con la celeridad que lo hicieron las plantas que estuvieron un mes sin riego. En siete introducciones no hubo, relativamente, ningún crecimiento.

TABLA 5.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE LA ALTURA DE LAS PLANTAS, EN CENTIMETROS. PROMEDIOS GENERALES ANTES Y DESPUES DE LOS TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Octubre 14*</u>						
Canephoras	16,4	11,2 - 18,8	16,0	12,1 - 19,3	16,3	11,4 - 19,3
Arabigos	24,5	15,1 - 38,5	24,6	14,3 - 40,8	24,8	15,2 - 41,6
<u>Noviembre 14</u>						
Canephoras	23,2	16,7 - 28,4	19,5	15,6 - 22,8	20,0	15,6 - 23,0
Arabigos	31,2	21,2 - 44,3	29,2	19,1 - 45,6	29,1	19,8 - 45,0
<u>Diciembre 10°</u>						
Canephoras	27,8	21,2 - 31,8	23,7	19,0 - 26,5	19,7	15,3 - 23,0
Arabigos	34,4	23,5 - 46,2	33,0	21,4 - 48,2	28,8	19,6 - 44,6
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	30,1	24,0 - 46,5	25,8	19,5 - 32,5	20,6	17,3 - 23,0
Arabigos	36,9	24,0 - 51,0	34,7	23,0 - 50,3	30,2	20,0 - 45,5

\* Octubre 14, fecha de iniciación de los tratamientos.

T1 = testigo, con riego.

T2 = un mes sin riego, octubre 14 a noviembre 15.

T3 = mes y medio sin riego, octubre 14 a diciembre 10°.

Las introducciones Robusta El Salvador, SA-158 y *C. congensis* (Ft) y las variedades Catuai rojo y Típica reanudaron su desarrollo y crecieron en 15 días cantidades similares a los testigos. La altura final de las plantas dejadas de regar durante mes y medio fue un 280/0 inferior a los testigos.

Los análisis de varianza en los cuales se comparó el crecimiento durante un período determinado (diferencias en la altura), dieron diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos, en la mayoría de las fechas analizadas.

#### Número de nudos (Tabla 6).

Se contó el número de nudos después de cada tratamiento y se calculó su longitud, dividiendo la altura de la planta por el total de nudos. Esta medida se tomó con el fin de ob-

TABLA 6.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD DEL SUELO SOBRE EL NUMERO DE NUDOS. PROMEDIOS GENERALES PARA GRUPOS Y TRATAMIENTOS.

Grupo	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
Canephoras	7,2	6,5 - 8,0	6,7	5,7 - 7,3	5,9	4,7 - 6,7
Arabigos	8,9	8,0 - 9,5	8,7	8,3 - 9,0	8,2	6,0 - 9,0

servar si el déficit de agua en el suelo inducía en la planta la reducción en el tamaño y número de los entrenudos.

Los análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos, en todos los casos.

El número de nudos fue un 90/0 menor en las plantas dejadas de regar durante un mes (T2); el efecto fue más notorio en las introducciones de *C. canephora* que en las de *C. arabica*. Un mes de riego, posterior al tratamiento, redujo a 60/0 la diferencia con los testigos.

La parcela sin riego durante mes y medio (T3), mostró una reducción mayor (160/0) en el número de nudos, aún después de 15 días de riego posterior al tratamiento.

Aún cuando el efecto de los tratamientos sobre las variedades fue altamente significativo, no es posible registrar diferencias sobresalientes entre variedades, por tener las plantas a esta edad (4 a 6 meses) pocos nudos y además, por ser un período corto de crecimiento (2 meses); pero pudo observarse que los materiales menos afectados fueron Robusta El Salvador, Ugandae Africa, Típica y Caturra rojo. Las que presentaron mayor reducción en el número de nudos respecto del testigo fueron Ceilán, Robusta Ceilán, CRRC 1/8 y San Bernardo. Los índices de tolerancia confirmaron estas observaciones.

#### Número de hojas que permanecen (Tabla 7).

La deficiencia prolongada de agua en el suelo ocasiona, entre otros efectos, la caída de hojas, especialmente las de mayor edad. Con el fin de medir este efecto se registró el número de hojas que permanecían después de cada período y se comparó con los testigos.

Se encontraron diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos. Las diferencias entre variedades son explicables dado que la especie *C. arabica* tiene mayor número de hojas que las introducciones de *C. canephora*, en plantas de la misma edad.

TABLA 7.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD DEL SUELO SOBRE EL NUMERO DE HOJAS QUE PERMANECEN. PROMEDIOS GENERALES PARA GRUPOS Y TRATAMIENTOS EN CADA FECHA.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Octubre 14</u>						
Canephoras	10	9 - 11	10	9 - 12	10	8 - 10
Arabigos	15	13 - 18	15	14 - 17	15	13 - 16
<u>Noviembre 15</u>						
Canephoras	12	11 - 13	11	10 - 12	11	9 - 12
Arabigos	16	16 - 17	15	14 - 16	16	14 - 17
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	13	12 - 16	10	7 - 13	—	—
Arabigos	25	22 - 30	18	15 - 23	—	—
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	14	11 - 18	12	8 - 14	3	0 - 8
Arabigos	27	24 - 31	26	20 - 33	9	0 - 15

Las plantas que no recibieron riego durante un mes, perdieron un 100% de las hojas después de pasar por una etapa de amarillamiento y deshidratación. A los 12 días de reiniciado el riego, se desprendió un 120% adicional, es decir en el tratamiento T2 hubo una pérdida total del 220% de las hojas. Si se continúa regando, al completar 25 días de reanudado el riego las plantas han recuperado un 130% de sus hojas, o sea que en esta fecha solo hubo un 90% de diferencia entre el número promedio de hojas de las plantas tratadas y los testigos.

La parcela que no recibió riego durante mes y medio, después de 10 días de reanudado éste, había perdido el 720% de sus hojas; de las restantes, el 180% estaban quemadas, pero por ser hojas nuevas, algunas tenían una pequeña porción basal del limbo todavía verde (sana) y aún cuando estuvieran casi totalmente quemadas permanecían en la planta.

Las introducciones menos afectadas cuando se suprimió el riego durante un mes fueron L-48, L-251, Ugandae Africa y el Caturra rojo. Los índices de tolerancia confirmaron los resultados descritos, registrando valores cercanos a 500% en plantas con un mes de riego, una disminución (440%) después de aplicado de nuevo el riego y la recuperación posterior (470%).

En cuanto a las plantas que estuvieron sin riego durante mes y medio, las más afectadas fueron las introducciones *C. congensis* (C) BP-358, Laurentii, Borbón y Caturra, las cuales perdieron la totalidad de sus hojas. Las mejores plantas se encontraron en las introducciones CRRC 1/8, Ugandae Africa, SMES-2, SA-34 de *C. canephora* y San Bernardo, Catuai y Típica de *C. arabica*.

Los índices de tolerancia para estas plantas confirman de nuevo los resultados anotados, haciendo notorio el efecto de la ausencia de riego durante mes y medio ya que el índice promedio general para este tratamiento (T3) fue solo 190/0, con valores extremos entre 0 y 400/0.

En esta y en otras variables, pudo observarse que las plantas que se comportaron mejor en el período inicial del tratamiento, no siempre conservaron el mismo comportamiento después de un déficit hídrico severo.

#### Peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces (Tablas 8, 9, 10 y 11).

Los pesos secos son un índice de la producción de materia seca y expresan cuantitativamente el crecimiento vegetativo, durante un período determinado. Para verificar los efectos de los tratamientos sobre el desarrollo vegetativo de las plantas, al final de cada período de tratamiento se recolectó una muestra (2 a 3 plantas por introducción, según el caso) de cada parcela y en ellas se determinó el peso fresco y seco (en estufa a 60 °C durante 72 horas) de las raíces y de la parte aérea, separadamente.

El peso seco de la parte aérea tomado después de los tratamientos estuvo afectado por la caída de hojas y por las reducciones en el crecimiento.

Los análisis de varianza, mostraron diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos para todas las comparaciones. Las diferencias entre variedades son explicables, en principio, debido a que existe diferencias genéticas entre las introducciones estudiadas.

El estudio de los pesos registrados indicó que las plantas en las que se suprimió el riego durante un mes (T2), tuvieron un peso 260/0 menor al testigo (T1). La comparación de los pesos promedios en cada introducción y los índices de tolerancia calculados, indicaron que en algunas introducciones no hubo efecto notorio del tratamiento sobre el peso seco de la parte aérea; éstas fueron Ceilán, BP-358, SA-13 y Típica. En otras introducciones hubo efecto notorio. Los valores en el índice de tolerancia fueron menores a 350/0, en L-48 y SMES-2 y menor a 37,10/0 en Caturra rojo.

TABLA 8.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE EL PESO SECO DE LA PARTE AEREA. PROMEDIOS GENERALES EN GRAMOS PARA GRUPOS Y TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Noviembre 14</u>						
Canephoras	4,8	3,2 - 6,3	3,5	2,7 - 4,7	—	—
Arabigos	6,5	3,5 - 9,3	5,0	3,1 - 7,3	—	—
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	5,7	2,9 - 8,3	—	—	3,5	2,3 - 4,5
Arabigos	6,4	4,0 - 7,9	—	—	4,6	2,5 - 6,4
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	6,6	5,0 - 10,1	5,9	4,6 - 7,2	2,9	1,6 - 4,5
Arabigos	8,9	6,4 - 12,1	7,4	5,5 - 9,9	4,7	3,6 - 6,2

Al aplicar de nuevo el riego durante un mes, las plantas de la parcela T2 (un mes sin riego) reanudaron su desarrollo, recuperando su peso seco. Entre el testigo y las plantas T2 hubo solo 130/0 de diferencia en peso seco. Los promedios y el índice de tolerancia mostraron que las introducciones de mejor recuperación fueron Robusta El Salvador, L-48, Quillou, Ugandae Africa, Laurentii, SA-34 y el Caturra rojo.

La parcela que se mantuvo sin riego durante mes y medio (T3) mostró una reducción severa (350/0), en el peso seco de su parte aérea, respecto al testigo. Aplicando de nuevo el riego durante 15 días no hubo recuperación; la diferencia de peso entre el testigo (T1) y las plantas del tratamiento fue mayor (540/0); esto es explicable por dos razones: las plantas testigo continuaron su crecimiento normal haciéndose más pesadas que las plantas tratadas. Además, el riego indujo la caída de la mayoría de hojas quemadas en las plantas tratadas, haciendo que estas plantas perdieran peso.

El análisis detallado de los promedios y de los índices de tolerancia mostró que hubo algunas introducciones menos afectadas y con algún poder de recuperación destacándose las introducciones Ugandae Africa y Caturra rojo.

Tres introducciones presentaron índices de tolerancia muy bajos, aún después de reiniciado el riego; éstas fueron *C. congensis* (C), Ugandae Puerto Rico y SA-13.

El peso fresco de la parte aérea fue un índice de la turgidez y el contenido de agua en los tejidos, después de cada tratamiento. Los análisis de varianza presentaron diferencias altamente significativas entre variedades y tratamientos.

TABLA 9.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE EL PESO FRESCO DE LA PARTE AEREA. PROMEDIOS GENERALES EN GRAMOS PARA GRUPOS Y TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Noviembre 14</u>						
Canephoras	15,7	7,5 - 22,4	7,6	4,8 - 9,8	—	—
Arabigos	23,3	13,3 - 33,5	9,2	5,1 - 15,1	—	—
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	16,3	10,9 - 31,7	—	—	6,6	5,0 - 9,2
Arabigos	24,3	15,0 - 30,3	—	—	8,8	6,3 - 11,7
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	19,4	14,0 - 32,6	16,7	13,5 - 20,6	7,0	3,9 - 9,2
Arabigos	26,6	20,0 - 33,7	21,6	16,0 - 27,7	12,0	10,1 - 15,7

La parcela que no recibió riego durante un mes, mostró una reducción media en el peso fresco de la parte aérea de 55<sup>o</sup>/o, respecto al testigo. En las introducciones sometidas a mes y medio sin riego el peso fresco fue menor en un 67<sup>o</sup>/o.

La introducción menos afectada en el peso fresco de la parte aérea, después de un mes sin riego, fue SA-13. Las de mayor reducción en el peso fresco fueron L-48, Ugandae Puerto Rico, SMES-2, San Bernardo y Caturra rojo.

Al comparar los registros obtenidos después de reiniciado el riego se observó que las diferencias de peso respecto al testigo pasaron de 54,5<sup>o</sup>/o a 15,3<sup>o</sup>/o, en las plantas que permanecieron sin riego durante un mes y tuvieron un mes de riego posterior, mientras que en aquellas plantas que estuvieron sin riego durante mes y medio y luego se regaron durante 15 días, prácticamente no hubo recuperación. La introducción Pichilingue mostró alguna recuperación. Las introducciones *C. congensis* (C), Ceilán, BP-358, SA-13 y SMES-2 y las variedades Borbón y Mundo Novo fueron las más afectadas.

Los índices de tolerancia calculados para el tratamiento 3 (mes y medio sin riego) aún después de 15 días de recuperación solo llegan a 28<sup>o</sup>/o en promedio. La introducción que mejor se comportó, en todos los casos, fue la Ugandae Africa. Las de menores índices fueron: *C. congensis* (C), BP-358, SA-13 y Borbón.

TABLA 10.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE EL PESO SECO DE LAS RAICES. PROMEDIOS GENERALES EN GRAMOS PARA GRUPOS Y TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Noviembre 14</u>						
Canephoras	1,8	1,0 - 2,5	1,3	0,8 - 1,9	—	—
Arabigos	2,2	1,2 - 3,4	1,6	1,0 - 2,1	—	—
<u>Diciembre 1º</u>						
Canephoras	1,7	0,8 - 3,1	—	—	1,6	1,0 - 2,0
Arabigos	1,6	1,1 - 2,5	—	—	1,4	1,1 - 2,2
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	2,7	1,8 - 4,4	2,5	1,9 - 3,1	1,3	0,8 - 1,9
Arabigos	2,8	1,9 - 3,7	2,6	1,9 - 3,2	1,3	1,0 - 1,6

Los análisis de varianza realizados a los pesos secos de las raíces mostraron diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos al comparar plantas sin riego durante un mes con plantas regadas; es decir, hubo respuesta diferencial de las variedades a la falta de riego y el déficit de agua en el suelo afectó el peso seco de las raíces de todas las plantas. Resultados similares se encontraron en los pesos de las raíces de plantas sometidas a mes y medio sin riego y con 15 días posteriores de recuperación (riego), comparadas con raíces de plantas regadas continuamente.

Al permanecer las plantas durante un mes sin riego (T2), el peso seco de las raíces, en general, fue menor al de los testigos (T1) respectivos. En algunas variedades fue más notorio el efecto del tratamiento: L-48, SA-158, BP-39, SMES-2, Borbón y Caturra rojo.

La mayoría de las plantas dejadas de regar durante un mes, recuperaron sus raíces al regarlas de nuevo, superando algunas de ellas después de un mes con riego, incluso a sus testigos. Estas fueron las introducciones L.251, Ugandae Africa y SMES-2. Las variedades Caturra rojo y Típica igualaron a los testigos.

En algunas introducciones no hubo recuperación, siendo las más afectadas Quillou, *C. congensis* (C), BP-358, Robusta Ceilán, SA-13, BP-39, Borbón y San Bernardo.

Las plantas sin riego durante mes y medio (T3), aún después de 15 días de recuperación (riego), resultaron severamente afectadas tanto en el peso como en la funcionalidad de sus raíces, pues muchas de las raicillas se secan y mueren tomando un color pardo oscuro.

TABLA 11.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE EL PESO FRESCO DE LAS RAICES. PROMEDIOS GENERALES EN GRAMOS, PARA GRUPOS Y TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Noviembre 14</u>						
Canephoras	6,1	1,7 - 10,7	1,9	1,0 - 2,8	—	—
Arabigos	6,9	3,1 - 10,5	2,3	1,2 - 3,1	—	—
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	6,0	2,9 - 8,3	—	—	3,4	2,1 - 5,6
Arabigos	5,4	3,5 - 6,8	—	—	2,6	1,9 - 3,7
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	5,6	3,6 - 10,5	5,9	3,7 - 8,3	4,8	3,2 - 7,7
Arabigos	6,3	4,3 - 8,9	5,5	4,6 - 6,3	4,6	3,3 - 5,6

No hubo diferencias en el peso seco de las raíces, tomado inmediatamente después de un mes y medio de sequía, y los pesos 15 días después de reiniciado el riego. Las raíces de todas las variedades tratadas durante mes y medio sin riego, pesaron menos del 50% que sus respectivos testigos. La introducción L-251 de *C. canephora* fue una excepción.

Los índices de tolerancia determinados en plantas con mes y medio sin riego mostraron el efecto drástico de la sequía prolongada sobre ocho variedades, entre ellas Pichilingue, Ugandae Africa, Borbón y Típica, con los índices más bajos. Pero lo más notable fueron las diferencias negativas entre los índices determinados inmediatamente después de mes y medio sin riego y los índices 15 días después de reiniciado el riego. En solo dos introducciones, Pichilingue y Ugandae Africa, hubo recuperación; en las restantes, el índice fue menor, alcanzando diferencias negativas hasta del 35% (Ugandae Puerto Rico). En nueve introducciones las diferencias fueron también negativas y mayores del 20%. Las variedades con alguna recuperación fueron Borbón y Típica.

En cuanto al peso fresco de las raíces, los análisis de varianza mostraron que no hubo diferencias significativas entre las variedades, cuando se suprimió el riego durante un mes T2; sin embargo, entre tratamientos hubo diferencias altamente significativas. Este resultado se aclara si se tiene en cuenta que los pesos de las plantas no regadas fueron 70% menores respecto al testigo y que en todas las introducciones ocurrió una disminución proporcional en los pesos de las raíces, no produciéndose diferencias significativas entre variedades.

La mayoría de las introducciones dejadas de regar durante un mes se recuperaron al regar de nuevo, durante 30 días. Las introducciones que mejor respondieron fueron Robusta El salvador, L-251, Pichilingue, Ugandae Africa, y SMES-2; las de menor respuesta fueron BP-39 y San Bernardo.

El análisis de varianza de los pesos frescos de las raíces, al comparar los tratamientos después de reiniciado el riego, dió diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos. Este resultado está influenciado principalmente por el efecto drástico de la falta de riego por más de un mes (T3).

En este tratamiento la diferencia promedio de peso, respecto al testigo, fue de 46<sup>o</sup>/<sub>o</sub> en el momento de reiniciado el riego; 15 días después la diferencia se redujo al 17<sup>o</sup>/<sub>o</sub>; hubo rehidratación de los tejidos pero el efecto fue drástico, como se refleja en otras variables.

Las introducciones menos afectadas en su peso fresco fueron L-251, Quillou, Pichilingue, Laurentii y Catuai rojo. Las más afectadas fueron *C. congensis*, SA-158, Robusta de Ceilán, BP-39, SA-34, Borbón, San Bernardo y Típica.

Los índices de tolerancia confirmaron las observaciones con valores bajos para las plantas dejadas de regar durante un mes (25<sup>o</sup>/<sub>o</sub> en promedio) y pesos cercanos a los testigos con un mes de riego posterior (I. T. promedio 50,7<sup>o</sup>/<sub>o</sub>); estos valores indican que hubo recuperación en la mayoría de las introducciones.

En plantas con mes y medio sin riego hubo una rehidratación de los tejidos al aplicar de nuevo el riego, por lo cual el índice de tolerancia subió de 35,7 a 45,5<sup>o</sup>/<sub>o</sub> en los promedios generales. Las introducciones con los mejores índices fueron L-251, Pichilingue, Laurentii, SMES-2 y Catuai rojo. Fue sobresaliente el comportamiento de la introducción SA-13.

## MEDIDAS EN LAS HOJAS.

Periódicamente se midió la longitud de la hoja, desde la inserción del pecíolo en el tallo hasta el ápice, y la anchura máxima en la parte media de la lámina foliar. Las medidas se hicieron sin desprender las hojas y en el segundo y tercer par de hojas a partir del brote terminal del tallo. Se calculó además el producto largo por ancho de la hoja.

### Longitud y anchura de la hoja (Tabla 12).

En general, las hojas de las plantas de *C. canephora* son de tamaño mayor a las de *C. arabica*. Dentro de las especies hay diferencias entre variedades en cuanto a forma y otras características anatómicas de las hojas.

TABLA 12.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO, SOBRE EL AREA DE LA HOJA (LARGO POR ANCHO). PROMEDIOS GENERALES PARA CADA ESPECIE POR FECHAS Y POR TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>Octubre 14</u>						
Canephoras	86,5	61,2 - 97,6	87,4	68,6 - 120,0	89,2	58,9 - 110,0
Arabigos	70,4	50,4 - 87,8	70,6	49,3 - 92,2	70,1	48,5 - 89,2
<u>Noviembre 14</u>						
Canephoras	174,8	143,2 - 211,8	137,4	99,7 - 179,4	129,5	96,9 - 155,7
Arabigos	96,9	87,0 - 113,1	82,2	64,1 - 94,9	79,1	53,3 - 107,8
<u>Diciembre 14</u>						
Canephoras	190,0	138,4 - 277,9	150,9	106,0 - 186,1	120,7*	86,1 - 189,0
Arabigos	101,4	78,4 - 116,6	79,7	64,8 - 96,5	83,4*	55,2 - 117,3

\* Proviene estos datos, de pocas medidas (23 y 11 respectivamente), debido a pérdida de hojas por el tratamiento.

Se calculó el producto largo por ancho de las hojas con el propósito de relacionar estas magnitudes y comparar el tamaño de las hojas, evaluando las áreas de los rectángulos que las circunscriben.

Se encontraron diferencias altamente significativas entre variedades y entre tratamientos.

La parcela dejada de regar durante un mes (T2) tuvo hojas con área 210/0 menor respecto a los testigos (T1).

Se observó una reducción sistemática en el área foliar de las plantas tratadas. Después de un mes de reanudado el riego, la diferencia entre el testigo y las plantas tratadas fue igual (área 210/0 menor), es decir, no hubo recuperación en el tamaño de las hojas; aún cuando las plantas reiniciaron su desarrollo, las hojas maduras ya habían sido afectadas en el crecimiento. En las hojas nuevas se observó un crecimiento normal, una vez se aplicó de nuevo el riego. Los índices de tolerancia mostraron que la introducción en la cual se redujo más el área foliar con el tratamiento fue la *C. congensis* (C), con un índice de 270/0.

Las plantas dejadas de regar durante mes y medio (T3) mostraron tendencia similar a la descrita para el T2. Al mes de tratamiento, los productos largo por ancho de las hojas

fueron 25<sup>o</sup>/<sub>0</sub> menores al testigo (T1). Después de mes y medio sin riego y 15 días adicionales de reanudado éste, la pérdida de hojas fue tan grande que las medidas de largo y ancho solo se pudieron tomar en 34 plantas. Por esta razón esta parcela no se incluyó en el análisis de varianza general, para esta fecha. El área promedio para 23 plantas de *C. canephora* fue 120,7 cm<sup>2</sup> mientras para los testigos en la misma fecha fue de 190 cm<sup>2</sup> (36<sup>o</sup>/<sub>0</sub> mayor); en *C. arabica* se midieron 11 plantas las cuales arrojaron un área promedio de 83,4 cm<sup>2</sup>. El área promedio en las plantas correspondientes no tratadas fue 101,4 cm<sup>2</sup> (18<sup>o</sup>/<sub>0</sub> mayor). Los índices de tolerancia indicaron que hubo introducciones con plantas en las cuales el tratamiento no afectó el tamaño de las hojas, estas fueron: una planta en L-48 y Quillou, dos plantas de San Bernardo y tres plantas de Típica.

### MEDIDAS EN LAS RAICES (Tabla 13).

El sistema radical de *C. canephora*, difiere de *C. arabica* en el número y distribución de las raíces. Además, en las variedades de *C. arabica*, León y Umaña (17) encontraron diferencias significativas en la concentración de raíces de las variedades Caturra y Mundo Novo respecto del Borbón, el cual presenta menor concentración. Inforzato y Reis (13), reportan que la distribución de las raíces es muy similar en las variedades Borbón y Mundo Novo, pero las raíces de Borbón penetran a mayor profundidad y son más delgadas que las de Mundo Novo.

Con el propósito de verificar si las medidas en la raíz permitían evaluar el efecto de los tratamientos, se determinó la longitud de la raíz principal, la longitud máxima de las raíces secundarias y la zona pilífera o longitud de la raíz principal sobre la cual crece el mayor número de raíces secundarias. Además se calcularon las interrelaciones entre estas medidas.

El estudio de las medidas de la raíz indicó que con ninguna de estas medidas es posible determinar cuantitativamente el efecto de los tratamientos debido a la amplia variación e inconsistencia en los datos. Existen diferencias observables entre especies, en cuanto al sistema radical, pero no es posible valorarlas por estas medidas. El peso, como ya se vió y quizá algunas medidas de densidad y volumen de raíces podrían diferenciar y medir el efecto de los tratamientos sobre las raíces.

Las observaciones cualitativas del crecimiento de las raíces, mostraron que algunas variedades de *C. arabica* producen pocas raíces secundarias muy largas y poco ramificadas, mientras que en la mayoría de las introducciones de *C. canephora* las raíces no son tan largas, pero la abundancia de raíces secundarias, terciarias y pelos es notoriamente superior.

TABLA 13.- EFECTO DEL DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE LA LONGITUD DE LAS RAICES. PROMEDIOS EN CENTIMETROS PARA VARIAS FECHAS Y TRATAMIENTOS.

	T1		T2		T3	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
<u>LONGITUD DE LA RAIZ PRINCIPAL.</u>						
<u>Noviembre 17</u>						
Canephoras	18,5	15,0 - 22,5	17,8	14,5 - 22,0	-	-
Arabigos	17,5	12,0 - 24,0	19,1	12,8 - 25,0	-	-
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	17,4	11,0 - 25,5	-	-	17,5	13,8 - 21,0
Arabigos	16,2	8,0 - 26,5	-	-	17,2	10,5 - 20,0
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	19,1	13,5 - 26,0	19,8	14,2 - 26,3	17,4	14,5 - 21,7
Arabigos	19,3	9,8 - 26,0	15,3	10,5 - 18,5	19,0	10,8 - 28,3
<u>LONGITUD MAXIMA DE LAS RAICES SECUNDARIAS.</u>						
<u>Noviembre 17</u>						
Canephoras	24,0	14,0 - 29,5	23,2	17,5 - 31,5	-	-
Arabigos	27,1	22,0 - 31,0	28,6	20,5 - 41,0	-	-
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	27,4	15,0 - 50,0	-	-	21,6	17,0 - 26,5
Arabigos	24,7	18,0 - 32,0	-	-	22,8	17,0 - 29,0
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	24,9	17,0 - 32,0	25,1	20,0 - 39,3	22,7	17,7 - 27,7
Arabigos	27,7	17,0 - 40,5	27,4	21,7 - 34,0	30,6	26,0 - 39,7
<u>LONGITUD DE LA RAIZ PRINCIPAL CON MAYOR NUMERO DE RAICES SECUNDARIAS</u>						
<u>Noviembre 17</u>						
Canephoras	11,9	8,5 - 15,8	12,8	7,0 - 15,3	-	-
Arabigos	11,2	7,5 - 15,0	10,8	8,5 - 12,3	-	-
<u>Diciembre 10</u>						
Canephoras	11,9	8,0 - 16,0	-	-	12,3	7,0 - 15,5
Arabigos	9,6	6,0 - 13,0	-	-	9,5	7,3 - 14,5
<u>Diciembre 15</u>						
Canephoras	12,1	9,3 - 15,3	12,4	9,7 - 15,7	11,7	9,5 - 15,2
Arabigos	12,0	4,8 - 14,5	9,9	7,7 - 12,0	9,6	7,2 - 11,7

## PESO Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO.

El peso del suelo se redujo aproximadamente 600 g, con un mes sin riego (tabla 14). Esta sería la cantidad de agua perdida por transpiración de la planta y por evaporación directa.

Los porcentajes de humedad en el suelo mostraron que a partir de un mes sin riego, la disminución en el porcentaje de humedad fue baja; partiendo de 76% de humedad en el suelo, dos días después de regado, se llegó a 54% con un mes sin riego y a 55% para suelo con mes y medio sin riego. Esto indica que un mes sin riego bajo las condiciones del ensayo, es suficiente para que este tipo y cantidad de suelo llegue a su límite de pérdida de agua; por esta razón, los efectos de la falta de disponibilidad de agua por la planta son más drásticos después de que se alcanza dicho límite.

Teniendo en cuenta las calificaciones de marchitez y la respuesta de la planta de café a los tratamientos de sequía, puede deducirse que para las condiciones del ensayo, se llegó al punto de marchitez permanente (PMP) alrededor de los 30 días sin riego.

La cantidad de agua disponible para la planta y el porcentaje de humedad son función directa de la cantidad y calidad de suelo que contienen las bolsas. En bolsas con menor cantidad de suelo, los síntomas de marchitamiento deberán aparecer en menor tiempo.

## OBSERVACIONES CITOLOGICAS

### Número y longitud de los estomas.

Los estomas hacen un control eficiente de la transpiración a medida que se agota el agua en el suelo, como lo observaron Bierhuizen, Nunes y Ploegman (2). Además, pueden ser afectados en su tamaño cuando hay un déficit prolongado de agua en el suelo (23).

En 13 plantas con diferente grado de marchitez, después de un mes y medio sin riego (T3), se hicieron impresiones con esmalte transparente para uñas; en ellas y en epidermis separadas de las hojas, se observó la apertura estomática, se contó el número de estomas y se midió la longitud de las células guardas, en 10 campos por placa, calculando luego los promedios por área.

En las plantas testigo (regadas), más de 50% de los estomas permanecieron abiertos, en tanto que en las plantas sin riego solo el 10% de los estomas estaban abiertos (muestras tomadas entre 8 y 9:30 a.m.).

TABLA 14.- PROMEDIOS GENERALES DE PESO DEL SUELO MAS LA PLANTA DESPUES DE CADA TRATAMIENTO (GRAMOS).

Fechas	T1	T2	T3
Noviembre 17	2.178 (76%)	1.589 (54%)	—
Diciembre 10	1.986	—	1.453 (55%)
Diciembre 15*	1.954	1.861	1.782

\* Después de reiniciado el riego.

( ) Porcentaje de humedad del suelo.

El número y el tamaño de estomas contados en 10 campos del microscopio, 0,346 mm<sup>2</sup> aproximadamente, se presentan en la tabla 15.

En general, no se notan diferencias en cuanto al número y longitud de los estomas de plantas regadas y no regadas. El número de estomas varía entre plantas de una misma especie, pero los promedios permiten demarcar diferencias entre especies.

El número de estomas es menor en *C. arabica* que en *C. canephora*; la relación inversa entre el número de cromosomas y el número de estomas (22) se conserva. Hay dos excepciones en cuanto al número de estomas por área; en la planta tres de la introducción Robusta Ceilán, el número de estomas es demasiado bajo para la especie (91 estomas); esta planta después de un mes y medio sin riego no presentó síntomas visibles de marchitez (calificación 0).

La planta número dos de *C. arabica* variedad Borbón, tratada un mes y medio sin riego mostró un número de estomas muy superior al promedio de la especie (171 estomas) su calificación de marchitez fue 5.

El tamaño de los estomas, es muy similar en plantas tratadas y no tratadas. Solo en las variedades de *C. arabica* muestreadas, hay una diferencia relativa en la longitud de los estomas siendo mayor en las plantas regadas.

#### Número de cloroplastos en las células guardas y anexas del estoma.

Con el propósito de confirmar la presencia de cloroplastos en las células acompañantes de los estomas, reportada por primera vez en trabajo anterior (22), y para observar el posible efecto del tratamiento sobre los cloroplastos de células guardas y anexas del estoma, se

TABLA 15.- NUMERO Y LONGITUD DE LOS ESTOMAS EN PLANTAS DE *C. canephora* Y *C. arabica* REGADAS Y NO REGADAS, CON DIFERENTES GRADOS DE MARCHITEZ.

Introducción	Planta Nº	T1 - con riego		T3 - 1 1/2 mes sin riego		
		Número estomas en 0,346 mm <sup>2</sup>	Longitud Estomas micras	Número estomas en 0,346 mm <sup>2</sup>	Longitud Estomas micras	Calificación de marchitez *
Pichilingue	1	211	19,5	178	18,9	3
T - 3634	2	141	21,8	—	—	—
Robusta	1	150	20,2	164	18,9	1
Ceilán	2	156	18,5	156	20,8	1
	3	—	—	91	20,2	0
Ugandae	1	175	19,3	125	20,0	5
Africa	2	123	20,8	180	19,1	2
Laurentii	1	146	20,6	162	19,7	4
T - 2402	2	161	21,2	170	21,8	5
<i>C. arabica</i>	1	114	26,3	98	24,2	4
Var. Borbón	2	80	27,1	171	18,5	5
<i>C. arabica</i>	1	108	24,6	126	23,7	2
Var. Catuai	2	81	25,4	113	23,7	2

\* Calificación hecha a los 47 días sin riego.

contaron y observaron los cloroplastos en algunas plantas seleccionadas por su diferente grado de marchitez.

En la tabla 16 se presentan los promedios de los cloroplastos, encontrados en cada muestra.

En las plantas regadas, todas las muestras tienen cloroplastos en las células guardas del estoma; en mayor número en las variedades de *C. arabica* que en *C. canephora*. La mayoría de las introducciones de *C. canephora* examinadas tienen plantas con cloroplastos visibles en las células anexas, siempre en mayor número que los de las células guardas correspondientes, lo cual confirma los resultados reportados (22).

En las plantas dejadas de regar durante mes y medio, sólo en algunos casos fueron visibles los cloroplastos de las células guardas y en pocas muestras fue posible hacer los recuentos en las células anexas. Solo en plantas con calificación de marchitez de 3 ó menos, fueron visibles los cloroplastos, tanto en las células guardas como en las anexas.

TABLA 16.- PROMEDIO DE CLOROPLASTOS EN CELULAS GUARDAS Y ANEXAS DE LOS ESTOMAS EN PLANTAS DE *C. canephora* Y *C. arabica* REGADAS Y SIN RIEGO.

Introducción	Planta Nº	T1 - con riego		T3 - 1 1/2 mes sin riego		Calificación de marchitez
		Nº de cloroplastos Células guardas	Células anexas	Nº de cloroplastos Células guardas	Células anexas	
Pichilingue T - 3634	1	10,5	13,2	11,3	14,4	3
	2	9,2	*	—	—	
Robusta Ceilán	1	10,4	12,4	*	*	1
	2	9,4	*	*	13,5	1
	3	—	—	7,7	10,7	0
Ugandae Africa	1	8,4	12,2	*	*	5
	2	8,6	*	10,7	*	2
Laurentii T - 2402	1	10,5	*	*	*	4
	2	10,1	*	*	*	5
<i>C. arabica</i> Var. Borbón	1	14,8	*	*	*	4
	2	13,3	*	*	*	5
<i>C. arabica</i> Var. Catuai	1	14,1	*	*	20,4	2
	2	13,0	*	*	19,6	2

\* No fue posible contarlos, pues no tiñeron con el nitrato de plata.

La variedad Catuai se comportó diferente a las demás: en las plantas regadas fueron visibles los cloroplastos de las células guardas del estoma, mientras en las plantas sin riego solo se observaron cloroplastos en las células anexas.

Puede deducirse que el déficit de humedad, en el suelo y en la planta, alteró el funcionamiento normal de los cloroplastos. Aquí es necesario aclarar que las muestras fueron tomadas de 8 a 9:30 de la mañana cuando la mayoría de los estomas de las plantas regadas estaban abiertos. Debe tenerse en cuenta, además, que el nitrato de plata actúa sobre cloroplastos activos reduciéndolos y por lo tanto, haciéndolos visibles (oscuros); en hojas viejas o muertas no ocurre esta reacción.

Puede concluirse que la deficiencia de agua, inactiva los cloroplastos de los estomas, pues éstos no reaccionan con el nitrato de plata; y que los cloroplastos de las células guardas y anexas participan activamente en el movimiento estomático. Es necesario examinar mues-

tras tomadas en material con tratamientos similares, a varias horas del día y de la noche con el fin de comprobar la relación entre movimiento estomático y la participación de los cloroplastos; y si la deshidratación prolongada de los tejidos inactiva los cloroplastos transitoria o definitivamente.

## CONCLUSIONES

Hubo diferencias, entre introducciones y dentro de introducciones, en cuanto a las respuestas a los distintos tratamientos; estas diferencias permiten hacer una preselección de material tolerante, en estado de plántula, a condiciones de déficit de humedad en el suelo. Se requieren ensayos de campo que definan si hay relación en las respuestas a nivel de plántula y en árboles de mayor edad.

Bajo las condiciones de clima y suelo especificadas para este ensayo, en general, las plantas de café con 4 a 6 meses de edad, dejadas de regar durante un mes no sufrieron efectos irreparables pues, con un mes de riego posterior recuperaron su desarrollo hasta alcanzar valores cercanos a los testigos. En tanto que las plantas dejadas de regar durante más de un mes fueron severamente afectadas. Para cada situación dependiendo de las condiciones de clima y suelo, habrá un período máximo de tolerancia a las condiciones de déficit de humedad.

La mayoría de las medidas tomadas permitieron evaluar el efecto de los tratamientos y las respuestas diferenciales de las introducciones a éstos. Solo las medidas en las raíces produjeron resultados inconsistentes, debido al tipo de registros hechos. Sin embargo, son notorias las diferencias, en cuanto a la distribución y desarrollo del sistema radical, en las especies *C. canephora* y *C. arabica*.

Las variables que reflejaron más claramente el déficit hídrico fueron: el grado de marchitez, la tasa de crecimiento y la defoliación.

En las tablas 17 y 18 se presenta el resumen de los análisis de varianza y los índices de tolerancia, promedio para cada una de las variables medidas.

En la tabla 19 se presenta la clasificación general de las introducciones estudiadas con respecto a su respuesta a los tratamientos, para cada una de las variables que midieron mejor los efectos de los mismos. El sistema de clasificación propuesto permite identificar claramente las respuestas en los grupos extremos (resistencia o susceptibilidad) y las reacciones más cercanas a ellos.

TABLA 17.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE VARIANZA, PARA CADA FECHA DE CONCLUSION DE LOS TRATAMIENTOS.

Variable	Noviembre 14			Diciembre 10			Diciembre 15		
	Variedades	Tratamiento	Comparación	Variedades	Tratamiento	Comparación	Variedades	Tratamiento	Comparación
Altura de la planta	—	—		**	**	(T1-T2-T3)	*	**	(T1-T2-T3)
Número de nudos	**	**	(T1 - T2)	—	—		**	**	(T1-T2-T3)
Hojas que permanecen	—	—		**	**	(T1 - T3)	**	**	(T1-T2-T3)
Peso seco del tallo	**	**	(T1 - T2)	**	**	(T1 - T3)	**	**	(T1-T2-T3)
Peso seco de la raíz	**	**	(T1 - T2)	N.S	N.S	(T1 - T3)	**	**	(T1-T2-T3)
Peso fresco del tallo	**	**	(T1 - T2)	*	**	(T1 - T3)	**	**	(T1-T2-T3)
Peso fresco de la raíz	N.S	**	(T1 - T2)	N.S	**	(T1 - T3)	**	**	(T1-T2-T3)
Longitud raíz primaria	N.S	N.S	(T1 - T2)	—	—		**	N.S	(T1-T2-T3)
Longitud raíz secundaria	N.S	N.S	(T1 - T2)	—	—		**	**	(T1-T2-T3)
Zona pilífera	N.S	N.S	(T1 - T2)	—	—		**	N.S	(T1-T2-T3)

\* Significativo al 50/0.

\*\* Significativo al 10/0.

N.S. No significativo.

— No se analizó.

T Tratamiento comparado.

TABLA 18.- INDICES DE TOLERANCIA, PROMEDIOS CALCULADOS PARA CADA ESPECIE INMEDIATAMENTE DESPUES DE CONCLUIDO EL TRATAMIENTO.

Variable	T2 (un mes sin riego)				T3 (mes y medio sin riego)			
	Canephora		Arabica		Canephora		Arabica	
	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites	Promedio	Límites
Altura de la planta	45,8	42,7 - 49,0	48,1	45,6 - 50,7	41,6	35,6 - 47,9	45,4	41,0 - 51,4
Hojas que permanecen	47,6	45,5 - 50,0	47,3	46,7 - 50,0	18,3	0,0 - 40,0	22,4	0,0 - 38,5
Peso fresco del tallo	33,3	25,8 - 53,4	29,0	15,1 - 36,3	24,9	17,0 - 39,4	27,0	22,1 - 31,2
Peso seco del tallo	42,4	33,0 - 51,2	44,1	37,1 - 49,5	38,8	24,5 - 51,9	41,0	31,9 - 51,0
Peso fresco raíz	25,3	12,3 - 46,4	25,6	15,5 - 34,9	36,4	21,2 - 53,2	33,5	21,8 - 44,6
Peso seco raíz	41,2	29,0 - 57,6	42,5	33,3 - 51,5	48,4	26,2 - 63,6	46,6	34,2 - 59,5
Largo por ancho hoja	44,0	38,5 - 49,0	45,8	40,0 - 49,9	30,9	0,0 - 50,0	30,3*	0,0 - 50,8*
Número de nudos	46,2	41,7 - 52,2	51,0	46,4 - 55,6	44,9	38,5 - 49,2	47,9*	42,9 - 50,0*

\* 15 días después de reiniciado el riego.

TABLA 19.- RESUMEN GENERAL DE LA CLASIFICACION DE LAS INTRODUCCIONES SEGUN LA RESPUESTA A LOS TRATAMIENTOS DE DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO

Introducción	Grado marchitez	Altura de la planta	Defoliación	Peso seco raíz	Peso seco parte aérea	Resumen
Robusta El Salvador		R				MR
L - 251			MR	R		MR
L - 48		MR	MR	MS	MS	I
Quillou		MR				I
Pichilingue				S		MS
<i>C. congensis</i> (C)			S		S	S
Ceilán			MS		MR	I
BP - 358			S		MR	I
Ugandae Pto. Rico					S	MS
SA - 158		R	MS	MS		I
Robusta Ceilán	R					MR
CRRC 1/8	MR		R			MR
SA - 13					MS	I
BP - 39	MR			MS		I
Ugandae Africa	R	MR	R	S	R	R
Laurentii			S			MS
SMES - 2	MR		R	MS	MS	I
<i>C. congensis</i> (F.T)	MR	R				MR
SA - 34	MR		R			MR
Borbón	MS		S	S		S
San Bernardo	MS	MR	MR			I
Catuai	R	R	MR			R
Típica	MR	R	MR	S	MR	MR
Caturra		MR	MS	MS	MR	I
Mundo Novo						I

R= Resistente.

MR= Moderadamente resistente.

S= Susceptible.

MS= Moderadamente susceptible.

I = Indefinido (no clasificable).

Nota: Los espacios en blanco indican que la introducción no estuvo clasificada ni entre las más afectadas, ni entre las mejores para la medida respectiva.

En general, la especie *C. canephora* se comportó mejor que *C. arabica*, pero las introducciones que presentaron el mayor número de plantas con el mejor comportamiento en la mayoría de las variables, después de mes y medio sin riego, fueron Ugandae T-3696 de *C. canephora* y la variedad Catuai de *C. arabica*. Las más afectadas fueron *C. congensis* (C) y Borbón de *C. arabica*.

El tiempo que pueden dejarse las plántulas de café en almácigo, sin riego y sin ocasionarles daños graves, depende de la cantidad de suelo que tengan las bolsas, la capacidad de retención de humedad del suelo y de las condiciones climáticas que las rodean. Una medida práctica sería no permitir grados de marchitez superiores a 3, para calificaciones hechas en las horas de la mañana.

## RESUMEN

Se estudió el efecto de varios tratamientos de déficit de humedad en el suelo, en 17 introducciones de *C. canephora*, dos de *C. congensis* y seis variedades de *C. arabica*, en plantas de cuatro a seis meses de edad.

Las variables estudiadas fueron: grado de marchitez, altura de las plantas, número de entrenudos, defoliación, peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces, longitud y anchura de las hojas, y medidas en las raíces. Además se hicieron algunas observaciones citológicas en plantas que mostraron un comportamiento especial; éstas fueron: número y longitud de los estomas, número y características de los cloroplastos de las células guardas y anexas a los estomas.

Hubo diferencia entre introducciones y dentro de introducciones, en cuanto a las respuestas a los distintos tratamientos; estas diferencias permiten hacer una preselección de material tolerante, en estado de plántula, a condiciones de déficit de humedad en el suelo.

Las variables que reflejaron más claramente el déficit hídrico fueron: el grado de marchitez, la tasa de crecimiento y la pérdida de hojas.

En general, la especie *C. canephora* se comportó mejor que *C. arabica*. Las introducciones menos afectadas por el déficit prolongado de humedad en el suelo fueron Ugandae T-3696 de *C. canephora* y la variedad Catuai de *C. arabica*. Las más afectadas fueron *C. congensis* (C) y Borbón de *C. arabica*.

## SUMMARY

Soil water deficit was estimated on the basis of several treatments applied to seedlings ranging from four to six months of age and belonging to 17 introductions of *C. canephora*, two of *C. congensis*, and six varieties of *C. arabica*.

The variables under study were: wilting degree, plant height, internode number, defoliation, fresh and dry weight of roots and aboveground part of plant, width and length of leaves, and measurements of the root system. On plants showing special behavior the following cytological observations were made: number and length of stomata, number and characteristics of chloroplasts of the guard cell and the cells adjacent to the stomata.

There were differences between and within the introductions, as to the response to the different treatments. These differences allow a preselection of tolerant materials at the seedling stage, under conditions of soil water stress.

The variables clearly showing water deficit were wilting degree, growth rate, and loss of leaves.

In general, *C. canephora* behaved better than *C. arabica*. The introductions less affected by extended soil water deficits were Ugandae T-3696 from *C. canephora* and the Catuai variety from *C. arabica*. The ones most affected were *C. congensis* (C) and Borbon from *C. arabica*.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASANA, R. D. Measurement of drought resistance in crop plants. Methodology of plant ecology. In Eckardt, F. E. ed. Proceedings of the Montpellier Symposium. Paris, Unesco, 1965. pp 531.
- 2.- BIERHUIZEN, J. F.; NUNES, M. A. ; PLOEGMAN, C. Estudos sobre a produtividade do cafeeiro. II Influencia da humidade do solo na fotossíntese e transpiracao de *Coffea arabica*. Estudos Agronomicos (Portugal) 11-12:27-35. 1970-1971.
- 3.- BOYER, J. Comportement hydrique des deux grands groupes de *Coffea canephora* de Cote d'Ivoire. Café, Cacao. The (Francia) 9(4):263-282. 1965.
- 4.- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Informe de Labores. Cali, 1974. 286 p.

- 5.- COFFEE BOARD RESEARCH DEPARTMENT. Central Coffee Research Institute, Mysore, India. Twenty fifth annual detailed technical report 1971-1972. Mysore, 1972. 175 p.
- 6.- CRAFTS, A. S. Water deficits and physiological processes. In: Kozlowski, T. T. ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. V. 2. pp. 85-133.
- 7.- DAGG, M. Water requirements of coffee. In Intensification of coffee growing in Kenya; proceedings of a Seminar held in Nairobi. Ruiru, Coffea Research Foundation, 1968. 23 p.
- 8.- FRANCO, C. M. A agua do solo e o sombreamento das cafezais na America Central. *Bragantia* (Brasil) 11(4-6):99-119. 1951.
- 9.- FRANCO, C. M. ; INFORZATO, R. Quantidades de agua transpirada pelo cafeeiro cultivado ao sol. *Bragantia* (Brasil) 10(9):247-257. 1950.
- 10.- GATES, D. M. Transpiration and leaf temperature. *Annual Review of Plant Physiology* (EE. UU.) 19:211-232. 1968.
- 11.- GINDEL, J. Comportamiento de la planta de café en condiciones semiáridas. *Café* (Costa Rica) 4(14):61-79. 1962.
- 12.- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* (EE. UU.) 24: 519-570. 1973.
- 13.- INFORZATO, R. ; REIS, A. J. Estudo comparativo do sistema radicular dos cafeeiros Borbon amarillo e Mundo Novo. *Bragantia* (Brasil) 22(59):741-750. 1963.
- 14.- KOZLOWSKI, T. T. ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. 2 V.
- 15.- KRAMER, P. J. Relaciones hídricas de suelos y plantas; una síntesis moderna. México, Edutex. 1974. 538 p.
- 16.- LEMEE, G. ; BOYER, J. Influence de l'humidite du sol sur l'economie d'eau et la croissance de cafeiers du groupe *Canephora* cultives in Cote d'Ivoire. *Café, Cacao, The* (Francia) 4(2): 55-63. 1960.
- 17.- LEON, J. ; UMAÑA, R. Diferencias varietales en el sistema radical del café. *Café* (Costa Rica) 3(11):130-133. 1961.
- 18.- LEVITT, J. The measurement of drought resistance. *Methodology of plants eco-physiology*; In Eckardt, F. E. ed. *Proceedings of the Montpellier Symposium*. Paris. Unesco, 1965. 531 p.

- 19.- MOSS, D. N. Some aspects of microclimatology important in forage plant physiology. In American Society of Agronomy. Forage plant physiology and soil-range relationships. Madison, 1964. 250 p. (ASA special publication N° 5).
- 20.- NUNES, M. A. Resistencia a secura em *Coffea arabica*. II Estudo comparativo das selecoes KP, K-7 e Harrar. Estudos Agronomicos (Portugal) 11-12:9-14. 1970-71.
- 21.- NUNES, M. A. ; DUARTE, N. T. Resistencia a secura em *Coffea arabica*. Estudo comparativo de duas selecoes, Estudos Agronomicos (Portugal) 10(3-4): 73-85. 1969.
- 22.- OROZCO, F. J. ; CASSALETT, C. Relación entre las características estomáticas y el número cromosómico de un híbrido interespecífico en café. Cenicafé (Colombia) 25(2):33-50. 1974.
- 23.- PARKER, J. Droughth resistance mechanism. In Kozlowski, T. T. ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press. 1968. V. 1 pp 195-234.
- 24.- PEREIRA, H. C. Field mearurements of water use for irrigation control in Kenya Coffee. The Journal of Agricultural Science (EE. UU.) 49(4):459-466. 1957.
- 25.- RASCHKE, K. Heat transfer between the plant and the environment. Annual Review of plant physiology (EE. UU.) 11:111-126. 1960.
- 26.- SLATYER, R. O. Plant-water relationships. London, Academic Press, 1967. 366 p.
- 27.- STONE, J. F. ed. Plant modification for more efficient water use. Agricultural Meteorology (special issue) 14(1-2). 1974. 320 p.
- 28.- VAADIA, Y.; RANEY, F. C.; HAGAN, R. H. Plant water deficits and physiological processes. Annual Review of Plant Physiology. (EE. UU.) 12:265-292. 1961.
- 29.- ZAHNER, R. Water deficits and growth of trees. In Koslowski, T. T. ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. V. 2, pp 191-254.