

B 250

RESPUESTA DE PLANTAS JOVENES DE CAFE A LA APLICACION
DE TRES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUELO Y DOS FUENTES DE NITROGENO

Por

Manuel T. Bravo Compés

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro Tropical de Investigación y Enseñanza para Graduados

Enero, 1962

RESPUESTA DE PLANTAS JOVENES DE CAFE A LA APLICACION
DE TRES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUELO Y DOS FUENTES DE NITROGENO

Tesis

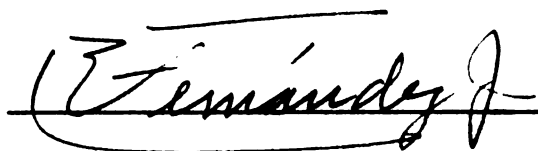
Sometida al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar el grado
de

Magister Agriculturae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

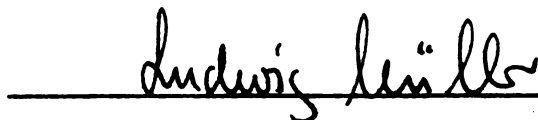
APROBADA:



Consejero



Comité



Comité

Enero, 1962

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTOS

El autor hace presente sus agradecimientos al Dr. Carlos Enrique Fernández, asesor principal de su comité por su dirección durante el desarrollo del presente trabajo y en sus estudios posgraduados. Agradece también al Dr. Ludwig Müller y al Profesor Frederik Hardy miembros de su comité.

Desea manifestar su gratitud igualmente al Dr. Jorge León por cuyo medio le fue posible obtener su beca de estudios en Turrialba, así como por su revisión del manuscrito.

Agradece del mismo modo a la Compañía W. R. Grace (Grace Chemical Division) gracias a cuya donación fue financiada su beca.

Queda muy reconocido también al Dr. Pierre Sylvain y al Dr. Paulo de T. Alvim por sus valiosas sugerencias. A los Ings. José F. Carvajal y Carlos López del Laboratorio de Investigaciones Agronómicas de San José y al Profesor Elemer Bornemisza por la ayuda recibida en los análisis químicos. A todas las demás personas y amigos que colaboraron en el presente trabajo.

Agradece de manera especial a la Srta. Matilde de la Cruz por su ayuda y estímulo en la culminación de este trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Oroya, República del Perú, en agosto de 1934.

Hizo sus estudios profesionales en la Universidad Agraria "La Molina" en Lima, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1959.

Trabajó durante un año en la Zona Andina del Proyecto 39 del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Lima.

En junio de 1960 ingresó a la Escuela para Graduados de dicho Instituto en Turrialba, Costa Rica, egresando en enero de 1962.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
1: Influencia del agua disponible del suelo en:	
a. el crecimiento de las plantas	3
b. la superficie foliar	6
c. la absorción de nitrógeno	7
d. el contenido de clorofila	11
2: Influencia de la humedad del suelo en:	
a. el crecimiento del cafeto	12
b. la absorción de nitrógeno por el cafeto	15
III. MATERIALES Y METODOS	20
IV. RESULTADOS	27
1: Peso seco	
a. peso seco de la parte aérea	28
b. peso seco de la raíz	29
c. relación de peso seco raíz/parte aérea	30
d. peso seco total	31
2: Superficie foliar	33
3: Crecimiento	34
4: Contenido de nitrógeno foliar	36
5: Contenido de clorofila	37
6: Observaciones sobre la apertura relativa de los estomas	38
V. DISCUSION Y CONCLUSIONES	40
VI. RESUMEN	49
SUMMARY	51
VII. LITERATURA CITADA	53
VIII. APENDICE	60

I. INTRODUCCION

El grado de humedad del suelo influye en diversos procesos fisiológicos de la planta. Entre ellos se considera que su efecto es directo sobre el crecimiento e indirecto en la absorción de los nutrientes del suelo. La respuesta del cafeto a este factor todavía no ha sido bien estudiada. Su conocimiento es indispensable como base para una mejora racional en los métodos de cultivo.

El concepto referente a que si el agua del suelo es igualmente disponible entre la capacidad de campo y el punto de marchitez o si disminuye antes de llegar a este último punto, es un problema científico que ha sido ampliamente estudiado en zonas templadas. Su importancia está en el conocimiento del grado hasta el cual puede descender la humedad del suelo sin que se produzca una disminución notable en el crecimiento de la planta. Esta información en el **cafeto** es casi desconocida. La absorción de nutrientes no es la misma en todo el ámbito del agua disponible ni todos los elementos se comportan igual. Por lo general la disminución de la humedad del suelo está asociada con un aumento en el contenido de nitrógeno en los tejidos de la planta. En el café sólo se ha estudiado esta variación en base a la precipitación. Aparentemente esta relación es contraria ya que hay una influencia directa de las lluvias en el contenido foliar de nitrógeno.

El presente trabajo tiene por objeto determinar la influencia de tres niveles de agua disponible en el suelo y de dos fuentes de nitrógeno

(urea y nitrato de sodio) en plantas jóvenes de café. La respuesta se mide en términos de crecimiento longitudinal, peso seco, superficie foliar, contenido de nitrógeno total y porcentaje relativo de clorofila en las hojas. También se hicieron observaciones sobre la apertura relativa de los estomas.

II. REVISION DE LITERATURA

1:a. Influencia del agua disponible del suelo en el crecimiento de las plantas

El actual conocimiento de la disponibilidad del agua en el suelo para las plantas está basado en los conceptos de dos escuelas distintas. Una es la de Veihmeyer & Hendrickson (70, 71, 72) quienes sostienen que la humedad del suelo entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitez es igualmente aprovechable por la planta. La otra afirma que la disponibilidad se va reduciendo conforme se acerca el porcentaje de marchitez. En la actualidad hay un gran número de investigaciones que han demostrado que el crecimiento se reduce antes que la humedad del suelo alcance el porcentaje de marchitez. Richards & Wadleigh (56) hicieron una revisión de literatura y estudiaron con detalle este asunto. Ellos concluyeron que a través del proceso de agotamiento de la humedad del suelo, la tensión aumenta constantemente y que hay mucha evidencia experimental que apoya la hipótesis que la intensidad de crecimiento de varias especies decrece marcadamente en el ámbito de agua disponible y que el crecimiento vegetativo se inhibe completamente durante el tiempo que la humedad del suelo permanece alrededor del porcentaje de marchitez. Kelley (31) presentó una revisión de las investigaciones más representativas hechas en este tema llegando también a la conclusión de que el contenido de humedad superior al del punto de marchitez no es igualmente disponible a la planta. El expuso algunas razones para explicar por qué algunos experimentos no dieron este resultado. En una revisión de ochenta experimentos sobre regímenes de humedad efectuada por Stanhill (65)

encontró que los resultados de 66 de ellos mostraron que el crecimiento respondió a diferencias en la humedad del suelo y el resultado de los 14 restantes no mostraron respuesta significativa. En todos los resultados positivos excepto uno, las mayores producciones estuvieron asociadas con los regímenes más húmedos. La relación entre aspectos de técnica experimental y los resultados se analizó por medio de la prueba de chi cuadrado. Se encontró que la relación de resultados positivo a negativo fue: significativamente superior en experimentos con plantas anuales que con plantas perennes; significativamente inferior en experimentos de campo que en experimentos realizados en macetas; significativamente mayor cuando los resultados se miden con relación al crecimiento vegetativo que en caracteres reproductivos. El autor concluye que el grado de agotamiento del agua disponible del suelo afecta el crecimiento de las plantas cultivadas. En su opinión, los autores que han sugerido una ausencia de respuesta en el crecimiento no han tenido en cuenta los resultados negativos. En un informe del desarrollo de la ciencia de la humedad del suelo en la U.R.S.S. Rode (59) cita varias referencias de trabajos científicos rusos que han demostrado que el contenido de humedad del suelo mayor al del punto de marchitez mejora el crecimiento de las plantas. En otra publicación Rode (60) considera la existencia de cinco categorías de agua en el suelo de acuerdo a su disponibilidad. Según él, se ha establecido que debajo del 70% de la capacidad de campo disminuye el suministro de agua a la planta, a este punto se denominó de "retardo del crecimiento". De este punto a la capacidad de campo también aumenta la disponibilidad.

En la última publicación de Veihmeyer & Hendrickson (72), en 1961 estos autores presentaron una nueva evidencia que respalda su teoría y ellos

consideran que los resultados discordantes hallados por otros investigadores son discutibles.

Es indudable que hay una serie de factores que influyen en la respuesta de la planta al grado de humedad del suelo dentro del ámbito disponible y hacen que su respuesta pueda ser incluida en uno de los conceptos anteriores. Un factor que siempre ha sido tomado en cuenta es el relativo a la fuerza con que el suelo retiene el agua. Esta fuerza se va haciendo muy elevada conforme la humedad se acerca al punto de marchitez y sería necesaria una energía muy alta para extraerla en las cercanías de este punto. Hagan (24) ha discutido estos factores y él considera además del factor suelo, a la planta, al clima y a otros factores misceláneos. Según opinión de Richards y Wadleigh (56) la respuesta de la planta se debe evaluar considerando los tres primeros factores mencionados y teniendo en cuenta además el criterio usado para estimar el crecimiento.

Experimentos con tomate y lechuga descritos por Hudson (26) indican que la respuesta de la planta depende de su estado de desarrollo. En plantas jóvenes la zona de tierra inmediata a ellas pierde el agua al ser absorbida por las primeras raíces pero éstas en su rápido crecimiento extraen agua de otras porciones de suelo con mayor humedad. Por esto el crecimiento casi no es afectado aunque la tierra en contacto con las raíces superficiales haya perdido casi la totalidad del agua disponible. Cuando todo el suelo ha quedado ocupado por raíces no es posible que éstas ocupen nuevos espacios con suelo húmedo y en consecuencia pequeñas reducciones en el suministro de agua pueden retardar el crecimiento.

El aumento en la tensión de la humedad del suelo causó una reducción en la elongación y peso seco de las raíces en el trabajo de Gingrich y

Russell (21, 22) con plántulas de maíz expuestas a varias tensiones de humedad del suelo. Contrariamente Veihmeyer & Hendrickson (72) encontraron que las plantas de guayule que se regaban cuando la humedad del suelo llegaba al punto de marchitez mostraron mayor peso seco que las mantenidas con riegos frecuentes, pero ellos consideran que el desarrollo de la raíz no es afectado por variaciones en el ámbito de agua disponible.

2:b. Influencia del agua disponible del suelo en la superficie foliar

La superficie foliar es un factor fisiológico que ha sido muy estudiado por los fisiólogos ingleses. Watson (74) demostró que la producción de las plantas está más determinada por su área foliar que por su intensidad fotosintética. Es obvio, en consecuencia, que cualquier factor que afecta el crecimiento foliar también influirá en la producción. Se sabe que el suministro de agua en el suelo afecta el área foliar. Por lo común su desarrollo es mayor a los niveles más altos de agua disponible (74). Kenworthy (35) encontró una correlación altamente significativa entre agua usada y área foliar en manzano. En plantas de maíz Ivanov (28) halló una mayor área foliar a 70% de la capacidad de campo que a 30%. Stanhill (66) encontró que de los tres niveles de humedad que aplicó a nabos, los dos más altos aumentaron significativamente el área foliar. McMurtrey et al. (43) informaron que las hojas de tabaco cultivadas en condiciones relativamente húmedas tenían aproximadamente el doble de superficie que las hojas de plantas cultivadas en condiciones más secas. Moore & Richards (48) estimaron el tamaño de las hojas de árboles jóvenes de aguacate que recibían tres frecuencias de riego. Los resultados mostraron que los árboles regados con más frecuencia tenían las

hojas más grandes y que la humedad del suelo tuvo mayor efecto que los fertilizantes nitrogenados sobre el tamaño de la hoja.

l:c. Influencia del agua disponible del suelo en la absorción de nitrógeno

Para un mismo suelo la absorción de nutrientes minerales está influenciada por el grado de humedad a que se encuentre. En la actualidad se dispone de un gran número de trabajos que han investigado la acumulación de elementos en los tejidos de la planta a diferentes niveles de humedad dentro del ámbito de agua disponible. Los resultados que se han obtenido son divergentes y no se puede llegar a una conclusión que permita hacer generalizaciones. En la revisión hecha por Wadleigh & Richards (73) concluyeron que la mayor parte de la evidencia experimental muestra que para un determinado nivel de fertilidad la disminución de la humedad del suelo está asociada con un incremento definido en el contenido de nitrógeno en el tejido de la planta, una disminución definida en el contenido de potasio y un efecto variable sobre el contenido de fósforo, calcio y magnesio. Es evidente que la fertilidad del suelo es un factor determinante en la absorción de los diferentes elementos nutritivos por la planta y que por consiguiente la composición química de una misma especie difiere por esta causa. Los experimentos que han incluido niveles de fertilizante nitrogenado al mismo tiempo que niveles de humedad han mostrado que por lo general las aplicaciones de nitrógeno al suelo producen más contenido de nitrógeno en la planta (14, 15, 18, 46, 62, 63). También se ha informado que en plantas afectadas por sequía, el contenido de nitratos aumentó directamente con la cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado (25).

En árboles cítricos El Tomi y Wolfe (14) estudiaron el efecto de dos frecuencias de riego y tres niveles de fertilizante nitrogenado. Encontraron que el tratamiento que mantuvo la humedad del suelo cerca a la capacidad de campo causó un decrecimiento significativo del porcentaje de nitrógeno en hojas de naranjos de la variedad Satsuma. En la variedad Hamlin se produjo la misma tendencia pero sin significación. Fujita et al. (19) cultivaron persimones jóvenes en macetas a 15, 30, 45 y 100% de la capacidad de campo y obtuvieron el mayor contenido de nitrógeno foliar al nivel de 30%. En un experimento con manzanos cultivados en macetas, Mason (42) encontró que después de seis semanas el tratamiento con riegos diarios redujo significativamente la concentración de nitrógeno en toda la planta pero fue el que produjo mayor absorción de este elemento; en el otro tratamiento se aplicaba el agua cuando se alcanzaba el punto de marchitez. Embleton et al. (15) determinaron el efecto de tres frecuencias de riego y tres niveles de nitrógeno en el contenido de macronutrientes en las hojas de árboles jóvenes de aguacate. Sus resultados mostraron que el porcentaje de nitrógeno fue más alto en los árboles de las parcelas que se dejaban más secas antes de regar. En árboles de tung Merrill & Kilby (46) encontraron que las hojas procedentes de las parcelas regadas con más frecuencia mostraron significativamente menor cantidad de nitrógeno, comparadas con las hojas de parcelas que solamente recibieron lluvia.

En tabaco McMurtrey y otros (43) encontraron que las plantas que estuvieron en condiciones relativamente secas tuvieron el más alto porcentaje de nitrógeno foliar. Yarosh (76) estudió el efecto del suministro de agua sobre los cambios bioquímicos en hojas del algodónero. El halló que la escasez de agua aumentó el contenido de sustancias

nitrogenadas en las hojas, incluyendo sustancias nitrogenadas no proteicas.

Fernández y Laird (18) experimentaron la influencia de tres frecuencias de riego y tres dosis de fertilización nitrogenada en el contenido de proteínas del trigo. Los resultados mostraron que el porcentaje de proteínas del grano estuvo en proporción inversa con la frecuencia de los riegos. (El contenido de proteína se obtuvo multiplicando el valor de nitrógeno total por 5.7). En frijoles afectados por varios tratamientos de riego Janes (29) halló más porcentaje de nitrógeno en el tratamiento más seco. La diferencia fue significativa cuando se refirió al peso fresco.

En experimentos con tomates realizados en macetas por Cannel, Ringham y Garber (8) se aplicaron tres niveles de humedad y cuatro de fósforo con tres clases de suelos. En un suelo areno-arcilloso ácido y en otro arcillo-limoso ligeramente ácido, la mayor tensión de humedad aumentó significativamente la concentración de nitrógeno en las hojas; pero en uno arcillo-arenoso alcalino no hubo influencia sobre la absorción de nitrógeno. Stanhill (66) después de probar tres frecuencias de riego encontró que el porcentaje de proteína cruda en los nabos fue significativamente mayor en el tratamiento más seco en comparación con el más húmedo. Según informó Haddock (23) el incremento de la humedad del suelo produjo disminución en el contenido de nitratos en los peciolo de remolacha. Kilmer et al. (36) investigaron la composición de cuatro especies de gramíneas forrajeras cultivadas a cuatro niveles de humedad del suelo. Sus resultados mostraron una tendencia a la acumulación del nitrógeno a altas tensiones de humedad.

Hanway y Englerhon (25) analizaron plantas de maíz y soya durante

un fuerte período de sequía. Ellos informaron que las plantas cultivadas en parcelas sin riego suplementario tenían una alta acumulación de nitratos y que este contenido fue disminuyendo conforme se incrementaba la cantidad de agua aplicada. Esta acumulación de nitratos es importante de tener presente en los pastos, debido a su efecto tóxico en la alimentación del ganado. Whitehead y Moxon (75) trataron sobre envenamiento del ganado debido a altas cantidades de nitratos en el forraje. Según Bradley et al. citado por estos autores, un porcentaje de 1.5 de nitrato de potasio en el heno es el contenido mínimo con el que se obtiene efectos tóxicos. Konovalov (37) suprimió el riego a plantas de trigo antes de que completaran la formación del grano dejándolas por cinco días en estado de marchitez. El porcentaje de nitrógeno del grano de estas plantas fue considerablemente mayor al de los granos de plantas con suficiente humedad.

Si bien la evidencia que muestra que la disminución de la humedad del suelo está asociada con la acumulación de nitrógeno es muy numerosa hasta el presente, se ha informado también, una ausencia de dicho efecto. Así, Jenne et al. (30) no encontraron efecto del descenso de la humedad del suelo sobre el porcentaje de nitrógeno en la planta de maíz. Metwally & Pollard (47) hallaron que los porcentajes de nitrógeno de plantas de cebada cultivadas en macetas fueron poco afectadas con los dos niveles de humedad aplicados. Sheets et al. (64) hallaron resultados irregulares en el análisis de nitrógeno de hojas de plantas de nabo expuestas a dos regímenes de humedad. Celestino (11) no obtuvo diferencias en el contenido de nitrógeno de bulbos de cebolla cultivados bajo dos niveles de humedad. Con forrajes, Kilmer et al. (36) encontraron que en las leguminosas el contenido de nitrógeno no estuvo relacionado con la humedad del suelo.

Por otro lado existen trabajos que han dado resultados contrarios a la tendencia antes mencionada, es decir, que muestran una dependencia directa entre el grado de humedad del suelo y el contenido de nitrógeno en la planta. Tal es el caso encontrado en el algodón por Scarsbrook, Bennett & Pearson (62) quienes aplicaron tres frecuencias de riego, y por Gates (20) con plantas jóvenes de tomate cultivadas en macetas. Este último autor a diferencia del método empleado por otros investigadores, estudió la respuesta de la planta a un solo período de deficiencia de agua. Trabajando con forrajes Schumaker y Davis (63) encontraron que en Agropyron smithii el nitrógeno mostró una tendencia a aumentar a los niveles más altos de humedad. Nelson y Robins (53) encontraron que la mayor absorción de nitrógeno por el pasto y el trébol en cultivo asociado, correspondió al nivel más alto de agua del suelo. Los autores interpretaron esto como debido a una mayor proporción de trébol ya que se encontró que esta planta dio mayor suministro de nitrógeno al pasto que los fertilizantes nitrogenados.

Kessler (34) presentó un trabajo mostrando una relación entre ácidos nucleicos y el efecto de la sequía. En su opinión muchas de las irregularidades en la composición química que se han encontrado en plantas afectadas por la sequía son de naturaleza secundaria. Según él, los análisis de las reacciones cinéticas podrían dar una mejor información del metabolismo de la planta.

1:d. Influencia de agua disponible del suelo en el contenido de clorofila

Algunos autores han determinado el efecto del régimen de humedad del suelo sobre el contenido de clorofila en las plantas. Kenworthy (35) trabajando con manzanos cultivados en macetas a cinco niveles de humedad encontró una correlación positiva altamente significativa entre cantidad

de agua usada y total de clorofila por planta. No hubo diferencia cuando el contenido de clorofila se expresó en unidad de área foliar. El Toni y Wolfe (14) probaron dos niveles de humedad y tres niveles de fertilizante nitrogenado en árboles cítricos. En naranjas de la variedad Satsuma el riego produjo significativamente menos clorofila en las parcelas con dosis baja y media de nitrógeno; no se encontró diferencia en el nivel alto de nitrógeno ni en cualquiera de las parcelas de la variedad Hamlin. Hubo una correlación significativa entre aplicaciones de nitrógeno y contenido de clorofila en ambas variedades. Moore y Richards (48) estimaron el color de las hojas de árboles jóvenes de aguacate usando un puntaje. Los tratamientos consistían en tres frecuencias de riego y tres niveles de nitrógeno. Ellos encontraron que el color se hacía más pálido conforme aumentaba la tensión de humedad del suelo y se hacía más oscuro con el aumento de la dosis nitrogenada.

Una interesante revisión titulada "Water deficits and physiological processes" (69) aparecida en el Annual Review of Plant Physiology del año 1961 fue recibida por la Biblioteca del Instituto en los días que finalizaba este trabajo.

2:a. Influencia de la humedad del suelo en el crecimiento del cafeto

La mayor parte de la información de que se dispone sobre la influencia de la humedad del suelo en el crecimiento, absorción de nutrientes y otros procesos fisiológicos del cafeto provienen casi únicamente de experimentos realizados bajo precipitación natural. Los experimentos con aplicaciones de riego en forma regulada son muy escasos y no permiten hacer esta revisión refiriéndose principalmente al agua disponible del suelo como se hizo en la primera parte.

La mayor parte de los experimentos realizados con aplicaciones de riegos han sido orientados para probar su efecto en la producción. Medcalf (44) en su artículo "Mejor control sobre el abastecimiento de agua para la producción de café", cita los resultados de numerosos trabajos en los cuales el riego produjo notables aumentos en la producción en plantaciones de Africa, India y Brasil.

La fisiología del café en relación al agua ha sido revisada por Sylvain (68) y también ha sido tratada por Alvim (1, 3). La apertura relativa de los estomas ha sido estudiada por Alvin & Havis (5). Estos autores usaron el método de infiltración perfeccionado por ellos para determinar la variación de la apertura de los estomas durante el día en plantas de café al sol y bajo sombra. Alvim (2, 4) usó este método como un diagnóstico práctico de la carencia de agua en varios cultivos.

El crecimiento del cafeto se produce en forma de ciclo durante el año. Esta variación en el crecimiento está gobernada por diferentes factores como suministro de agua, temperatura, intensidad de luz, fotoperiodismo, nutrición mineral y cantidad de frutos producidos. Muchos de los intentos de correlacionar algunos de estos factores con el crecimiento han dado resultados contradictorios, posiblemente debido a la interacción de factores que no fueron considerados.

En lugares con estaciones secas relativamente largas, el crecimiento prácticamente cesa durante esa época. Las medidas de crecimiento hechas en Kenya (32, 33) en los años 1958 y 1959 dieron una figura bastante relacionada con las cifras de precipitación, correspondiendo siempre el mínimo crecimiento a los períodos más secos. El trabajo de Robinson (58) muestra que el crecimiento ocurrió con mayor intensidad en la época del año con mayor precipitación. Lemée & Boyer (38) estudiaron las relaciones

entre absorción de agua y crecimiento vegetativo en Coffea robusta. En una prueba hecha en macetas hallaron que el crecimiento de las hojas era óptimo cuando el suelo se mantenía regado diariamente y que iba siendo menor cuando la humedad del suelo disminuía, hasta cesar en el punto de marchitez. Las observaciones hechas en el campo también mostraron que la intensidad del crecimiento fue máxima al comenzar la estación lluviosa. Cuando la humedad era menor que la capacidad de campo la longitud final de las hojas era menor; cuando quedaba la mitad del agua disponible este crecimiento llegó hasta $2/3$ del desarrollo en condiciones óptimas.

En desacuerdo con los resultados anteriores se puede citar el de Suárez de Castro y Rodríguez (67) en Colombia, quienes no hallaron ninguna relación entre la cantidad de lluvia caída y el crecimiento, y el de Boss (6) en Costa Rica, quien encontró que el crecimiento vegetativo mínimo estaba asociado con la lluvia máxima y su inicio con el decrecimiento de la misma. En este último trabajo el efecto podría ser causado por un exceso de agua, ya que durante el año que se realizó hubo solamente un mes con una precipitación menor de 100 mm. Finalmente, Alvim (1) encontró en la costa del Perú que el crecimiento estaba supeditado a cambios de temperatura e/o intensidad de luz y prácticamente no fue afectado por el riego.

Ligado a la cantidad de precipitación se encuentra el contenido de nitrato del suelo que tiene un papel determinante en los períodos de crecimiento del cafeto. Boss (6) comprobó por medio del análisis foliar que había una correlación positiva entre el grado de crecimiento y el nitrógeno de la planta, aunque no encontró que el mínimo crecimiento fuera debido a un nivel crítico de nitratos en el suelo. Por otro lado,

Robinsón (58) encontró que la declinación del crecimiento durante el periodo lluvioso coincidió con los valores bajos de nitratos en el suelo y estuvieron al mínimo cuando comenzó la declinación del crecimiento. Durante este tiempo las condiciones de clima fueron adecuadas para la continuación del crecimiento. También encontró que durante los períodos de muy baja humedad del suelo se forma nitrógeno amoniacal en la parte superior del suelo seco.

2:b. Influencia de la humedad del suelo en la absorción de nitrógeno por el cafeto

La relación que existe entre humedad del suelo y el contenido de nitrógeno foliar en el cafeto ha sido observada en los trabajos que han tratado de la variación de la composición química de la hoja durante el año. En estos trabajos se ha encontrado que por lo general el contenido de nitrógeno en las hojas varía durante el año en forma proporcional a la precipitación, es decir, que la curva del nitrógeno foliar sigue la misma tendencia que la curva de las lluvias. Esto ha sido informado en cinco áreas diferentes de la región de la Meseta Central de Costa Rica por Chaverri, Bornemisza y Chaves (10), en la Costa de Marfil por Loué (40) y recientemente por Espinosa (16) en varios lugares de El Salvador.

En la última publicación Espinosa (16) informó los resultados de una serie de trabajos sobre análisis foliar del cafeto llevados a cabo por el Instituto Salvadoreño de Investigaciones en Café. Se realizaron experimentos con el fin de determinar las variaciones de los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y de algunos elementos menores durante el ciclo anual del cafeto y de relacionar estos niveles foliares con la lluvia. Los resultados de doce parcelas ubicadas en seis localidades del país dieron curvas casi iguales. Se encontró que los niveles

foliares de nitrógeno se relacionaron en alto grado con la lluvia. El alza en el contenido de este elemento dependió de la cantidad de lluvia caída un mes antes y los valores decrecientes correspondieron bastante bien con la pérdida gradual de la humedad del suelo. Un ligero descenso aparecido en julio se atribuyó a un activo crecimiento vegetativo característico de esta época y al desarrollo de los frutos o a una posible lixiviación de nitratos. La aplicación de 2 libras anuales por planta de un fertilizante de fórmula 13-13-13 produjo una curva más alta, casi paralela a la anterior.

Comparando hojas maduras recientes con hojas antiguas, Espinosa encontró una correlación positiva en los niveles de los elementos en ambos tipos de muestras. Esta correlación fue altamente significativa para el nitrógeno y fósforo y significativa para el potasio. Sin embargo, las variaciones anuales en el contenido de los elementos no fueron idénticas en ambos tipos de hojas; así, es interesante hacer notar en el caso del nitrógeno que si bien las hojas maduras recientes siguen influenciadas directamente con la cantidad de lluvia caída, las hojas antiguas presentan una figura opuesta: sufren una fuerte disminución del nitrógeno al inicio de las lluvias haciéndose luego más suave esta pérdida. La autora asocia este descenso de la curva con la maduración del fruto.

El análisis foliar de cafetos al sol en un experimento que comparaba la absorción de nitrógeno proveniente de diversas fuentes mostró que en el tratamiento con urea esta absorción fue mayor que en el testigo y que en el nitrato de sodio, sin haber diferencia significativa entre estos dos últimos. En este experimento se halló un aumento rápido del nitrógeno foliar en todos los tratamientos al iniciarse las lluvias y su disminución al bajar la intensidad de éstas. Las plantas con nitrato de sodio

mostraron la absorción más rápida y una de las curvas más altas.

En un experimento de varios niveles de fertilización de café al sol y en otro con cafetos bajo sombra, se encontró que las variaciones del nitrógeno foliar durante el año se ajustaron al mismo patrón observado anteriormente. De esta serie de experimentos sobre análisis foliar Espinosa concluye que existen variaciones estacionales en los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas maduras recientes. El nitrógeno foliar presenta sus valores mínimos en marzo, al final de la estación seca; su concentración se eleva al inicio de las lluvias y tiende a alcanzar un máximo valor en agosto, en plena estación lluviosa. En octubre comienza una progresiva disminución del contenido de nitrógeno en las hojas que continúa durante la estación seca (noviembre a abril).

Robinson (57) en Kenya encontró que la disminución del nitrógeno foliar al fin de la estación lluviosa y a la maduración de la cosecha fue significativamente menor en plantas fertilizadas con urea y con nitrato de sodio que en plantas sin fertilizar.

En Campinas, Brasil, (39) se hizo un experimento con la finalidad de conocer en que época del año se puede aplicar riego con más provecho. El análisis del nitrógeno foliar realizado durante tres años mostró que el riego solamente tuvo influencia en el año 1954, cuando hubo una sequía en la segunda mitad del año. En este tiempo las plantas regadas tuvieron niveles más altos de nitrógeno en las hojas mucho antes que las plantas no regadas y produjeron 126% más cosecha que estas últimas. En los otros años cuando la precipitación fue satisfactoria, el riego tuvo escaso efecto en el tenor de nitrógeno de las hojas.

Según las referencias anteriores durante la época seca ocurre una baja en el contenido foliar de nitrógeno. Se ha informado también que

durante esta época los cafetos en producción muestran los síntomas típicos de deficiencia de este elemento. Pereira (54, 55), Müller (49, 50), Cooil (12) y Cooil & Nakayama (13). Pereira (54) observó que cafetos cultivados con "mulch" debajo del cual la humedad del suelo fue mayor, no sufrieron clorosis. También notó que no sufrieron amarillamiento las plantas jóvenes (55) ni las plantas que no dieron cosecha por haber sido podadas en la estación anterior (54). El análisis de las hojas mostró menos nitrógeno en las plantas amarillentas que en las plantas que habían sido podadas, aunque la diferencia más importante correspondió al magnesio; el contenido de azúcares reductores fue de la mitad del de las plantas cloróticas.

Müller (49) encontró que después del período de sequía, el inicio de las lluvias traía consigo un incremento rápido del nitrógeno foliar. En base al concepto según el cual los nitratos del suelo se inmovilizan cuando hay escasez de agua (7), este autor sugirió que cuando la humedad del suelo es insuficiente el nitrógeno no es asequible a la planta aún cuando puede acumularse en el suelo. El atribuye a esta causa el amarillamiento que sufre el cafeto en algunas regiones de Costa Rica durante la época de sequía (50). También observó que la radiación solar acentuaba esta carencia.

La baja en el contenido de nitrógeno que ocurre en el cafeto después de la cosecha y su consecuente amarillamiento fue explicado por Cooil (12) y Cooil & Nakayama (13), quienes encontraron que la acumulación de materia seca y nitrógeno en los frutos ocasiona una disminución rápida de este elemento tanto en hojas jóvenes como en las viejas. Según estos autores una cosecha abundante en un árbol de café produce una disminución de reservas de carbohidratos en la rama. Si esta disminución

es severa, se produce una disminución del crecimiento vegetativo de las ramas laterales. Esto trae como consecuencia una reducción en la superficie productora de la cosecha del año siguiente y del área foliar. La disminución del área foliar reduce la capacidad fotosintética del árbol.

III. MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en el invernadero del Departamento de Fitotecnia del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica. Se usaron 36 macetas de loza de unos 6 litros de capacidad y de 24 cm de profundidad, las cuales fueron llenadas con tierra que fue previamente mezclada. Se sembró una planta de café (Coffea arabica L.) de siete meses de edad en cada maceta. Estas plantas fueron de la variedad "Typica" y permanecieron en las macetas 11 semanas antes de que comenzaran a aplicarse los tratamientos.

Se usó la disposición experimental de un factorial en bloques al azar. Los tratamientos comprendieron la aplicación de tres niveles de humedad y dos fuentes de fertilizante nitrogenado, como se describe a continuación.

Las aplicaciones de agua se hicieron cuando la humedad del suelo se redujo:

H₀ al 0% de agua disponible (punto de marchitez)

H₁ al 40% de agua disponible

H₂ al 80% de agua disponible

Cada uno de estos niveles de humedad tuvo:

U urea (1 g de nitrógeno por planta)

N nitrato de sodio (1 g de nitrógeno por planta)

O ausencia de fertilizante (testigo)

Las nueve combinaciones de humedad y fertilizantes fueron repetidas cuatro veces.

En la Figura No. 1 se puede observar el tipo de macetas usadas, la sombra que se aplicó y el tamaño de las plantas un mes antes de finalizar el experimento.



Fig. Nº 1. Vista parcial del conjunto de plantas en el invernadero, 4 meses después de iniciados los tratamientos.

Antes de comenzar el experimento se ordenaron las plantas en orden de tamaño con el fin de asignar plantas uniformes a cada repetición. En éstos, los tratamientos fueron distribuidos al azar.

Para conocer la dosis óptima de nitrógeno por planta y evitar un exceso, se probaron en vivero un total de ocho niveles diferentes de nitrógeno en forma de urea y de nitrato de sodio en plantas de la misma edad. Se decidió tomar la menor dosis, de 1 gramo de nitrógeno por planta.

Al momento de llenar con tierra las macetas de cada repetición se instaló en cada una de ellas un bloque de yeso para medir la humedad del suelo según la conductividad eléctrica, por medio de un aparato Bouyoucos. Inicialmente se tuvo la idea de hacer las aplicaciones de agua rigiéndose con este sistema pero la inexactitud de las lecturas preliminares hizo que se cambiara al método de pesadas de macetas. Como no se conocía las taras de las macetas ni la cantidad de tierra que contenían, para calcular el peso a cada nivel de humedad se adoptó el siguiente criterio: se pesaron las macetas después de haberlas tenido sin regar durante tres semanas en que las lecturas de Bouyoucos marcaron 0 de agua disponible. Se volvieron a pesar 24 horas después de aplicar un riego abundante y se atribuyó a este peso la Capacidad de Campo. La diferencia de este peso con el anterior se consideró como "agua disponible" y de acuerdo a este valor se calcularon los pesos de los tratamientos, para cada maceta, correspondientes al 0%, 40% y 80% del agua disponible.

El promedio de peso de las macetas obtenido como se ha descrito fue:

Peso en la Capacidad de Campo	9.00 Kg
Peso en el Punto de marchitez	8.10 Kg
Diferencia (agua disponible)	0.90 Kg

Las macetas vacías pesaban aproximadamente 2.3 Kg.

Con la adopción del método anterior se inició el experimento el 6 de marzo de 1961, día en que se aplicaron los fertilizantes nitrogenados correspondientes y se dio por terminado el 27 de julio, después de 20 semanas de duración.

Durante todo el experimento se llevó una regulación diaria de la humedad de las macetas mediante pesadas, usando una balanza con una aproximación de 50 g. Los riegos se hicieron cuando el peso de cada maceta descendía hasta llegar al peso correspondiente a su tratamiento. Entonces se hacía la aplicación de agua necesaria para llevar el peso de la maceta al valor de su capacidad de campo. De este modo se aplicó la cantidad necesaria de agua para no producir percolación.

En el Cuadro No. 1 se muestra el número promedio de riegos aplicados en cada nivel de humedad y el número promedio de días de intervalo entre riegos, durante todo el tiempo que duró el experimento (marzo 7-julio 25) y en cada uno de tres períodos iguales de éste.

Cuadro No. 1. Frecuencia e intervalo entre riegos para cada nivel de humedad en tres etapas del experimento (de 47 días c/u) y durante toda su duración (141 días).

	7 Mar-22 Abr.		23 Abr-8 Jun.		9 Jun-25 Jul.		7 Mar-25 Jul.	
	num.	días interv.	num.	días interv.	num.	días interv.	num.	días interv.
H ₀	4.1	11.5	4.7	9.9	6.8	6.9	15.6	9.4
H ₁	8.2	5.7	9.5	4.9	12.2	3.8	29.9	4.8
H ₂	21.0	2.4	29.0	1.6	32.6	1.4	82.6	1.8

La corrección del peso de las macetas por el crecimiento de las plantas se hizo aproximadamente cada 25 días usando un criterio similar al seguido para la determinación de la Capacidad de Campo: cuando fue

necesario regar se aplicó el agua con un pequeño exceso tratando de que el drenaje fuera leve y se volvió a pesar la maceta después de una noche. Este peso se tomó como un nuevo valor de la capacidad de campo y se calculó nuevamente el peso del tratamiento.

Un mes después de iniciarse los tratamientos se hizo una aplicación general de 0.5 g de fósforo en forma de triple superfosfato y de 0.5 de potasio en forma de muriato de potasio a cada planta.

Desde el trasplante hasta el comienzo del experimento se tuvieron a las plantas con una sombra dada por listones de zinc. Después de un mes de haberla quitado se volvieron a poner los listones debido a la aparición en algunas hojas de manchas pardo-claras que aparentemente fueron causadas por una excesiva radiación solar.

Durante todo el experimento las macetas fueron cambiadas de lugar diariamente con el fin de procurar que todas las plantas estuvieran en las mismas condiciones. Se ha informado que de esta manera se puede reducir el error debido a las diferencias de humedad con las macetas de los bordes (9).

Las plantas recibieron dos aspersiones de una mezcla de Fermate y Perenox en solución como medida preventiva y una aspersión de Malathion al 0.23% para controlar una infestación de Leucoptera coffeella.

Desde el 20 de marzo hasta el 3 de julio se tomaron medidas semanales del crecimiento longitudinal del tallo y de las bandolas.

Las determinaciones de apertura de estomas fueron hechas con el método de Alvim y Havis (5) observando la infiltración de gotas de una serie de soluciones de diferente tensión superficial, aplicadas en la parte inferior de las hojas. Estas soluciones fueron hechas mezclando xylol con aceite mineral Nujol en proporciones de 10:0, 9:1, 8:2, etc.,

y Nujol puro, y fueron numeradas de 1 a 11 respectivamente. Estas determinaciones se realizaron en dos días consecutivos de 9:30 a 11:00 am. Durante este tiempo se midió la humedad relativa y temperatura del aire con un psicrómetro giratorio. El porcentaje de humedad del suelo correspondiente a cada determinación se calculó en base al peso de la maceta respectiva y sus valores conocidos en la capacidad de campo y en el punto de marchitez.

El suelo usado fue de una textura arcillosa, determinada por el método de la pipeta (41), con un alto contenido en materia orgánica: 10%, analizada usando ácido sulfúrico y dicromato de potasio (61). El coeficiente de marchitez calculado usando plantas de girasol dio 27.9% y la humedad equivalente determinada con el método de la centrifuga dio un promedio de 38.8%. El pH fue de 4.8 (fuertemente ácido) determinado con un potenciómetro, usando una proporción suelo-agua de 1:2.5. El color, clasificado de acuerdo a la serie de Munsell (52) fue pardo rojizo claro (5 Y R 6/3) en seco y pardo rojizo oscuro (5 Y R 3/2) cuando húmedo.

Para determinar la superficie foliar se dibujó sobre un papel el contorno de las hojas y se recortaron para calcular el área en base al peso del papel de una superficie conocida.

Se determinó separadamente el peso seco de la parte aérea y de la raíz usando una balanza de 0.1 g de aproximación.

Se separaron las hojas del segundo par para el análisis de nitrógeno total que se hizo por medio de un aparato micro Kjeldahl siguiendo el método descrito por Müller (51).

Para hacer el análisis de clorofila se sacaron 10 discos de las hojas de cada planta, por medio de un sacabocado de 1 cm de diámetro.

Se siguió el método usado en el laboratorio de Fisiología del IICA.

Los discos recién extraídos se hirvieron en agua durante un minuto y luego se secaron a 60°C. Se molieron con arena de cuarzo en un mortero, se agregó alcohol etílico y se filtró en un filtro de vidrio. El filtrado se llevó al colorímetro y el contenido de clorofila se comparó con el valor más alto de cada repetición.

Los resultados obtenidos en peso seco de las plantas, superficie foliar, contenido foliar de nitrógeno y de clorofila se analizaron estadísticamente como un experimento factorial 3^2 en bloques al azar. En todos los casos se hizo la corrección de una parcela perdida, correspondiente a una planta que accidentalmente murió en el tratamiento más húmedo sin nitrógeno.

Concluido el experimento se analizó el nitrógeno total de una muestra de suelo proveniente de las cuatro repeticiones de cada tratamiento por el método de Kjeldahl. Se encontró un promedio de 0.48% sin variaciones importantes. El valor del pH determinado a las mismas muestras tampoco indicó diferencias entre tratamientos; el promedio fue de 4.6.

El promedio de las temperaturas medias durante el tiempo que duró el experimento fue de 22.4°C con variaciones pequeñas.

IV. RESULTADOS

Las plantas sin fertilización nitrogenada después de aproximadamente tres meses de aplicados los tratamientos mostraron claramente los síntomas de deficiencia de nitrógeno. Estos síntomas, fueron intensificándose en las semanas siguientes. Además de la coloración amarillenta de las hojas, éstas presentaron un ángulo de inserción más agudo con respecto a la bandola y fue muy notoria la mayor rigidez que presentó toda la parte aérea. Estas plantas se podían distinguir fácilmente de aquellas que recibieron fertilización nitrogenada tanto por su coloración como por su tamaño algo menor.

Las plantas que recibieron nitrato de sodio fueron afectadas por una "quemadura" o necrosis en el margen de las hojas a las pocas semanas de aplicado este fertilizante. Este disturbio prosiguió durante la mayor parte del tiempo restante y se observó principalmente en las hojas adultas.

Después de extraer las raíces de todas las plantas, se observó que éstas estuvieron más concentradas en la parte inferior de las macetas pero sin mostrar una excesiva aglomeración. No se notaron diferencias en la distribución del sistema radical debido a los tratamientos.

Con el objeto de poder apreciar con mayor facilidad los resultados obtenidos, éstos se presentan en forma de gráficos. Se deja para el apéndice los cuadros de promedios que sirvieron para hacerlos, así como los cuadrados medios obtenidos en los análisis de la variancia de peso seco, superficie foliar, contenido de nitrógeno foliar y clorofila.

1: PESO SECO

a. PESO SECO DE LA PARTE AEREA

El peso seco en gramos de la parte aérea por planta, se muestra en la Figura No. 2. En esta figura como en las siguientes, las letras significan: U, urea, N, nitrato de sodio y O, testigo.

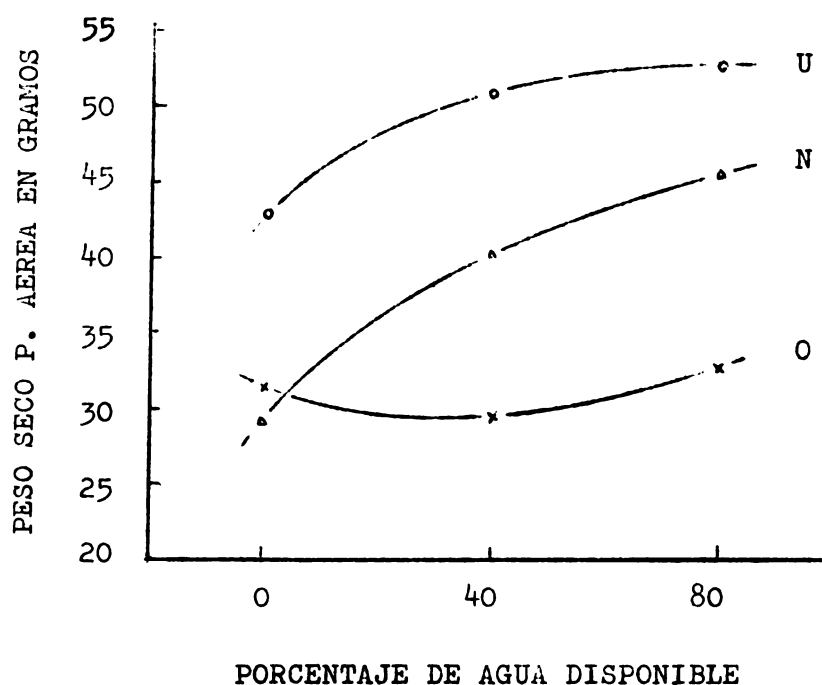


Fig. No 2. Efecto de tres niveles de humedad y dos fuentes nitrogenadas sobre el peso seco de la parte aérea.

En estos resultados se puede notar que el incremento del nivel de agua disponible del suelo produjo un aumento gradual del peso seco de la parte aérea en las plantas con fertilización nitrogenada. En las plantas que no llevaron nitrógeno casi no se notó este efecto. Se encontró una regresión lineal altamente significativa en esta relación.

La fertilización con urea presentó la curva más alta en peso seco de la parte aérea. Fue mayor, en forma altamente significativa, a la

curva producida por el nitrato de sodio y ésta presentó valores más altos que los provenientes de plantas sin fertilizante nitrogenado excepto en el nivel más bajo de humedad, donde los valores fueron prácticamente iguales. Se halló una diferencia altamente significativa entre las fuentes nitrogenadas y la ausencia de nitrógeno.

b. PESO SECO DE LA RAIZ

En la Figura No. 3 se muestra el peso seco del sistema radical por planta en cada uno de los tratamientos aplicados.

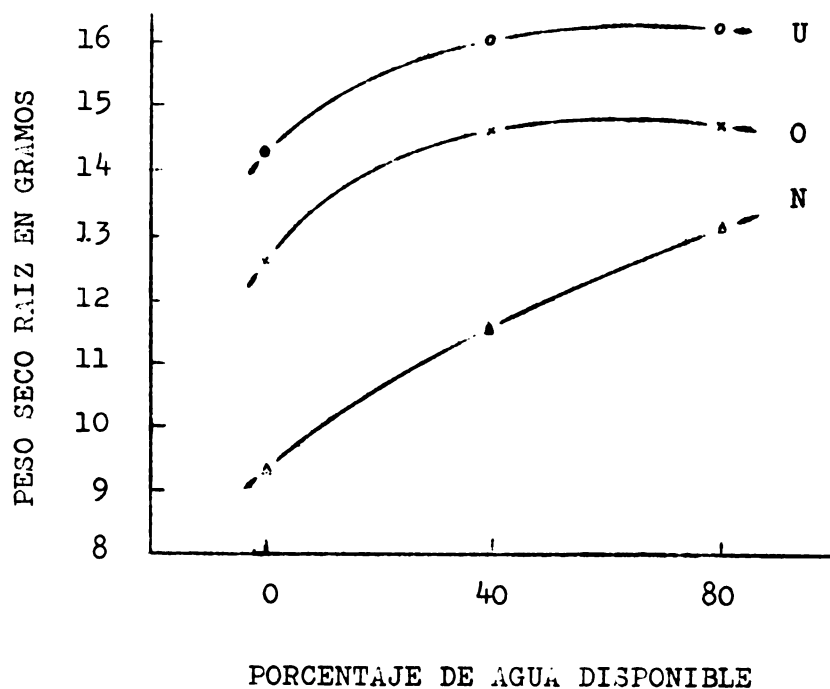


Fig. NO 3. Efecto de tres niveles de humedad y dos fuentes nitrogenadas sobre el peso seco de la raíz.

Como se puede ver en estos resultados, el peso seco de la raíz aumentó notablemente con la mayor cantidad de agua disponible en las plantas fertilizadas con nitrato de sodio. Las plantas que recibieron urea

y las que no llevaron fertilizante nitrogenado solamente incrementaron su peso seco cuando la humedad del suelo se elevó del punto de marchitez al nivel medio de humedad y fue el mismo de éste al nivel más alto. El análisis estadístico mostró una tendencia (diferencia significativa al 10%) de aumentar el peso seco de la raíz conforme se incrementaba el agua disponible del suelo.

Las raíces de las plantas que no llevaron fertilización nitrogenada tuvieron mayor peso seco que aquellas que recibieron nitrato de sodio y las raíces de plantas con urea mostraron el peso seco más alto. Se encontró una diferencia altamente significativa comparando el efecto de la urea con el de nitrato. La diferencia entre fuentes de nitrógeno y testigo no fue significativa.

c. RELACION RAIZ/PARTE AEREA

Estudiando en los resultados anteriores el desarrollo de la parte aérea de la planta con respecto al de la raíz, se puede ver que a pesar de que el peso seco de la raíz se vió reducido por la aplicación de nitrato de sodio, aparentemente su respectiva producción de parte aérea no fue afectada en igual forma ya que en ésta las fuentes mostraron diferencia altamente significativa con el testigo; en cambio se nota que la parte aérea del tratamiento sin nitrógeno es significativamente menor que el de otros tratamientos a pesar que su respectiva raíz mostró valores relativamente más altos que los correspondientes a nitratos. Con el fin de conocer mejor la relación que existió entre el peso seco de la raíz y la respectiva parte aérea de la planta en cada uno de los tratamientos se calculó este cociente en cada planta y se analizó estadísticamente. Los resultados se muestran en la Figura No. 4.

Los resultados muestran claramente que la mayor relación correspondió

a las plantas testigo y que las plantas con fertilización nitrogenada mostraron relaciones inferiores que no fueron afectadas sensiblemente con la humedad del suelo. Esta diferencia fue altamente significativa. Las plantas fertilizadas tuvieron valores muy parecidos entre sí los cuales fueron ligeramente inferiores en las plantas con nitrato.

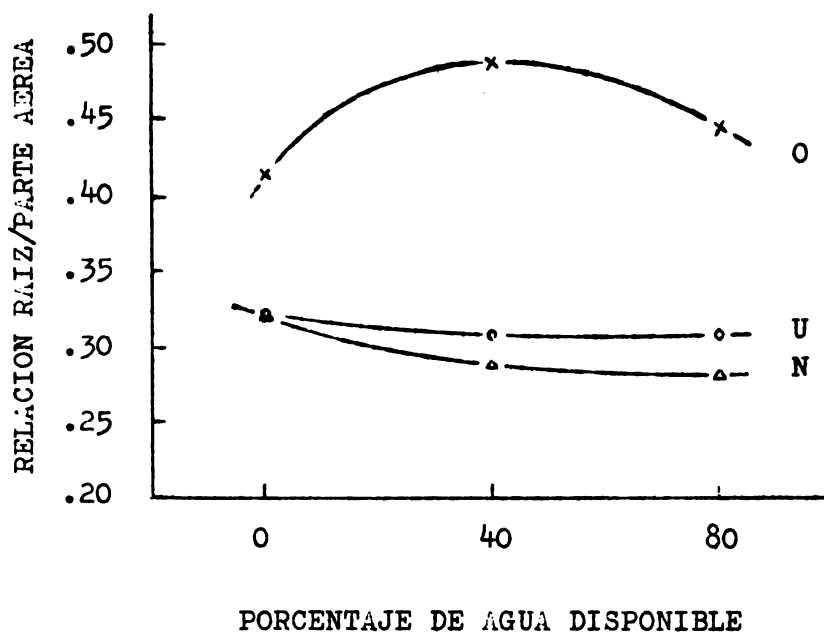


Fig. Nº 4. Efecto de tres niveles de humedad y dos fuentes nitrogenadas sobre la relación raíz/parte aérea.

De lo anterior se puede notar que las plantas con nitrato de sodio que tenían una raíz relativamente pequeña según se había visto en la Figura No. 2 dispusieron de una parte aérea que guardó la misma proporción que tuvieron las plantas con urea, mientras que en las plantas sin nitrógeno esta relación fue mayor debido a que su parte aérea fue relativamente más pequeña.

d. PESO SECO TOTAL

Los resultados de peso seco total por planta, es decir de la suma del peso seco de la parte aérea más el de la raíz en cada uno de

los tratamientos, se presentan en la Figura No. 5.

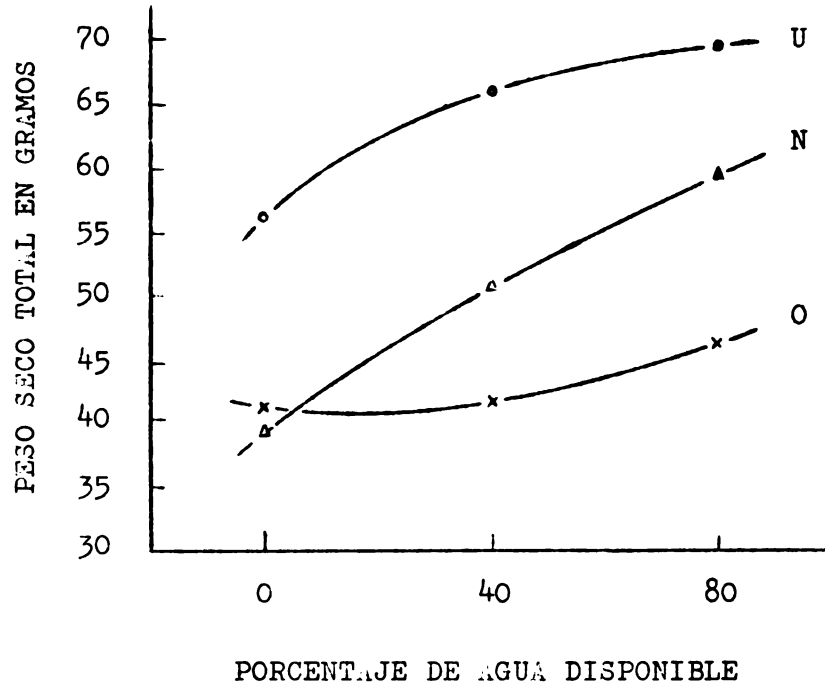


Fig. Nº 5. Efecto de tres niveles de humedad y dos fuentes nitrogenadas sobre el peso seco total.

Como se puede observar en estos resultados, el peso seco aumentó conforme se incrementó el nivel de agua en el suelo. Este efecto fue más notorio en plantas con urea y con nitrato de sodio que en aquellas que no tuvieron fertilizante nitrogenado. El análisis estadístico de estos resultados mostró que la regresión lineal fue significativa, lo cual indica que en realidad el peso seco estuvo directamente relacionado con el aumento de la humedad del suelo.

La urea fue la fuente nitrogenada que produjo más materia seca. Su efecto fue altamente significativo con respecto al nitrato de sodio. Las plantas con estos fertilizantes tuvieron mayor peso seco en forma

altamente significativa comparadas con las que no llevaron nitrógeno. Se puede observar, sin embargo, que las plantas con nitrato de sodio al ser regadas cuando la humedad del suelo bajaba al punto de marchitez, mostraron un valor ligeramente menor que las plantas sin fertilizante nitrogenado mantenidas con la misma humedad.

Se debe hacer notar que en ninguno de los análisis estadísticos efectuados con los resultados de peso seco se encontró interacción entre fuentes nitrogenadas y humedad del suelo ni tampoco regresión cuadrática en el efecto de los niveles de humedad.

2. SUPERFICIE FOLIAR

La superficie foliar producida se muestra en la Figura No. 6.

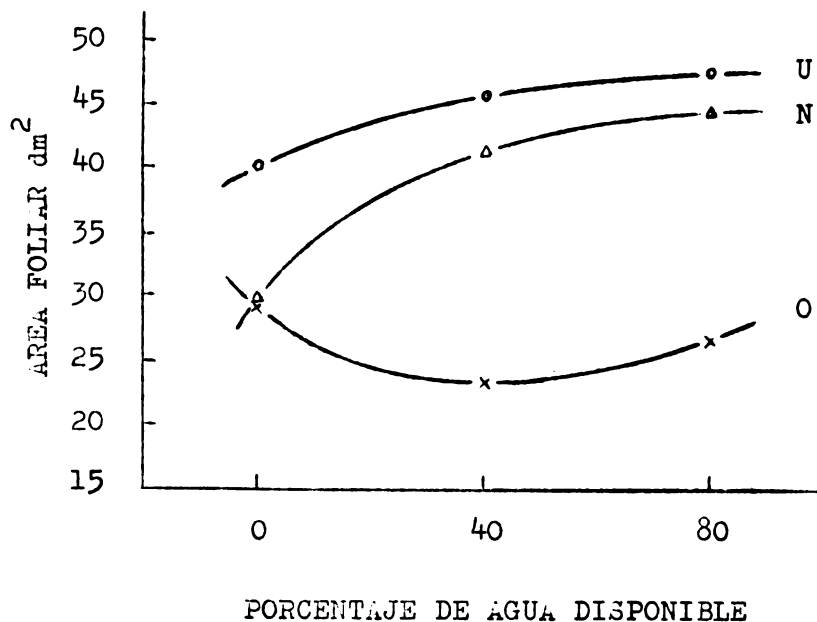


Fig. No 6. Efecto de tres niveles de humedad en el suelo y dos fuentes nitrogenadas sobre la superficie foliar.

En esta figura se puede observar que las curvas representadas son parecidas a las del peso seco de la parte aérea. Las plantas fertilizadas

produjeron notablemente más superficie foliar que las plantas sin nitrógeno y la urea produjo valores más altos que el nitrato de sodio. Ambas diferencias fueron altamente significativas. Se puede notar sin embargo, que cuando la humedad del suelo se dejó descender hasta el punto de marchitez, la producción de área foliar fue la misma para plantas con nitrato de sodio que para plantas sin fertilizante nitrogenado.

El decrecimiento de la humedad disponible produjo una disminución del área foliar. La regresión lineal demostró que este efecto fue altamente significativo pero debe notarse que las plantas sin fertilizante nitrogenado no tuvieron esta respuesta.

A diferencia de las otras determinaciones, en ésta se encontró una interacción altamente significativa entre fuentes de nitrógeno y niveles de humedad.

3. CRECIMIENTO

Las curvas del crecimiento longitudinal que incluyen el crecimiento en altura más el crecimiento de las bandolas, así como el incremento semanal, se presentan en la Figura No. 7. Los valores de cada curva provienen del promedio de las cuatro plantas de cada tratamiento.

En el tratamiento más húmedo se puede observar que aproximadamente durante las cinco semanas siguientes al primer mes el mayor crecimiento total correspondió a las plantas con nitrato, luego a las plantas testigo, y después a las plantas con urea. Después de la décima semana el crecimiento de todas las plantas fue prácticamente igual pero el testigo sufrió una notable disminución después de la doceava semana.

En el nivel de 40% de agua disponible todas las plantas tienen igual crecimiento hasta más o menos la octava semana cuando las plantas con urea sufren un aumento progresivamente mayor. Después de la onceava

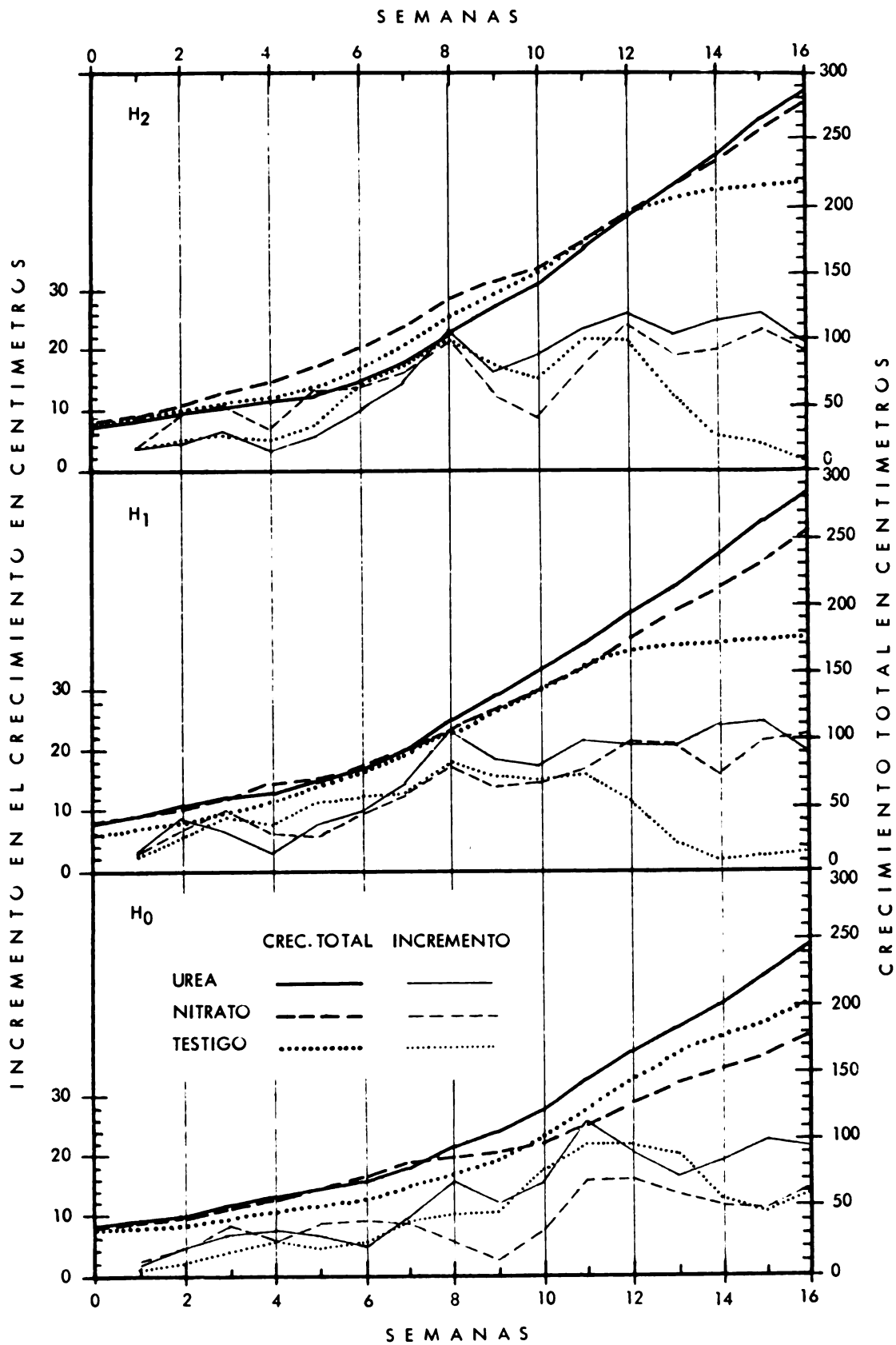


FIG. No. 7. CRECIMIENTO LONGITUDINAL E INCREMENTO EN CENTIMETROS DE LAS PLANTAS CON UREA, NITRATO DE SODIO Y TESTIGO A 80% (H₂), A 40% (H₁) Y A 0% (H₀) DE AGUA DISPONIBLE.

semana, las plantas sin nitrógeno sufren una notable disminución en el crecimiento.

En el tratamiento más seco, el crecimiento de las plantas fertilizadas con nitrógeno es igual hasta la octava semana cuando el crecimiento de las plantas con nitrato de sodio disminuye y se hace menor al de plantas sin nitrógeno. La curva del crecimiento de éstas permanece inferior al de las plantas con urea.

Comparando el crecimiento de las plantas entre niveles de humedad, se puede observar que aparentemente hay una disminución en el crecimiento conforme se baja el agua disponible del suelo. Esta disminución es especialmente notable en las plantas que recibieron nitrato de sodio.

4. CONTENIDO DE NITROGENO FOLIAR

El nitrógeno total contenido en las hojas en porcentaje de materia seca por planta se muestra en la Figura No. 8.

En estos resultados se observa que las tres curvas están uniformemente separadas y tienen la misma tendencia. La curva más alta corresponde al mayor contenido de nitrógeno que fue producido por el nitrato de sodio, luego viene la curva de las plantas con urea y la inferior corresponde al contenido de plantas sin fertilizante nitrogenado. Las diferencias en el contenido foliar de nitrógeno entre plantas fertilizadas y sin fertilizar y entre las dos fuentes nitrogenadas, fueron altamente significativas.

La tendencia que sigue la curva muestra que el contenido de nitrógeno decreció conforme se aumentó el nivel de agua disponible en el suelo. Este efecto fue altamente significativo. Así, el nitrógeno foliar de estas plantas dependió del grado de humedad a que fueron mantenidas.

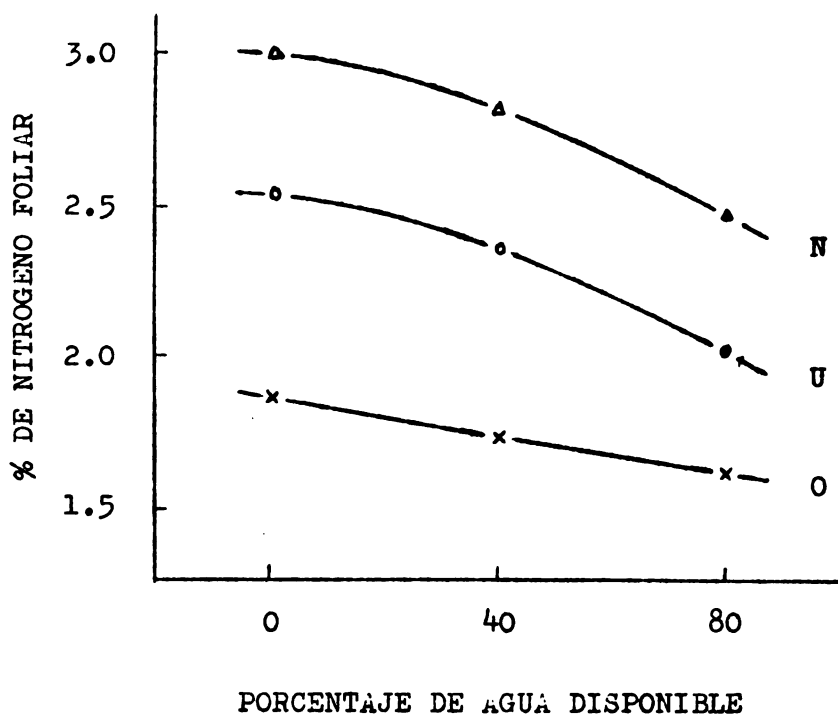


Fig. Nº 8. Efecto de tres niveles de humedad en el suelo y dos fuentes nitrogenadas sobre la absorción de nitrógeno en plantas de café.

5. CONTENIDO DE CLOROFILA

La Figura No. 9 muestra los porcentajes relativos de clorofila obtenidos.

Como se puede observar, las curvas que representan el porcentaje relativo de clorofila muestran que hubo diferencias entre tratamientos de fertilización. Las plantas con nitrato de sodio mostraron más porcentaje de clorofila, en forma significativa, que las plantas con urea. La diferencia entre fuentes nitrogenadas y la ausencia de nitrógeno fue altamente significativa.

Se encontró que el porcentaje de clorofila disminuyó en forma significativa a medida que aumentó el nivel de agua en el suelo.

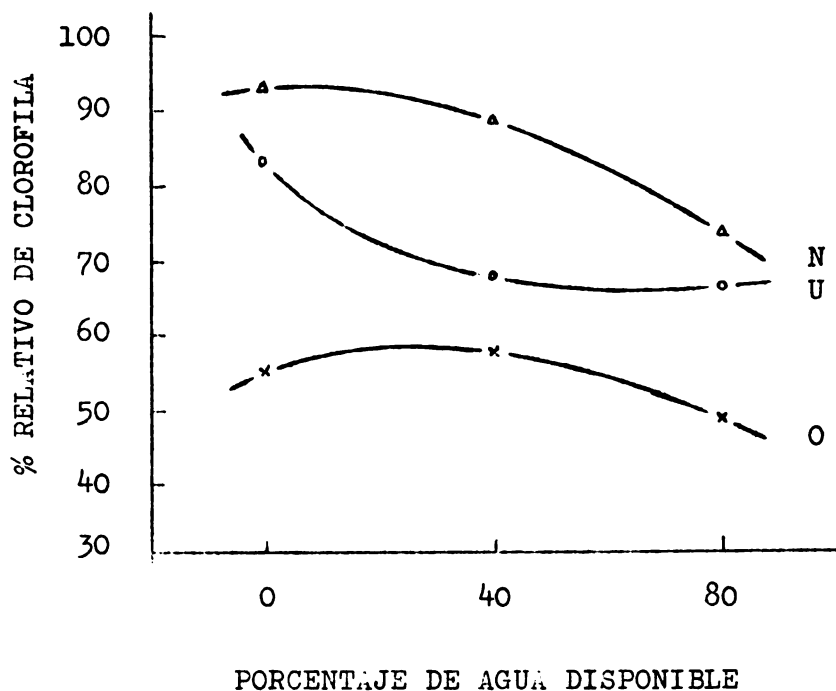


Fig. No 9. Efecto de tres niveles de humedad en el suelo y dos fuentes nitrogenadas sobre el porcentaje relativo de clorofila de plantas de café.

6. OBSERVACIONES SOBRE LA APERTURA DE LOS ESTOMAS

Los resultados obtenidos en las determinaciones de la apertura relativo de los estomas se presentan en la Figura No. 10.

En esta figura cada punto representa una observación. La infiltración inmediata de la solución número 7 (compuesta por cuatro partes de xilol y seis partes de nujol, en volumen) mostró que a un nivel de humedad superior al 70% de agua disponible las plantas presentaron la máxima apertura relativa de los estomas. Cuando la humedad del suelo desciende aproximadamente al 70% de la capacidad de campo, la apertura de los estomas comienza a disminuir hasta llegar a un mínimo, cuando la humedad del suelo alcanza el punto de marchitez. El cierre de los estomas en el punto de marchitez estuvo indicado por la infiltración inmediata de

la solución número 3 (compuesta de ocho partes de xilol y dos partes de Mujol).

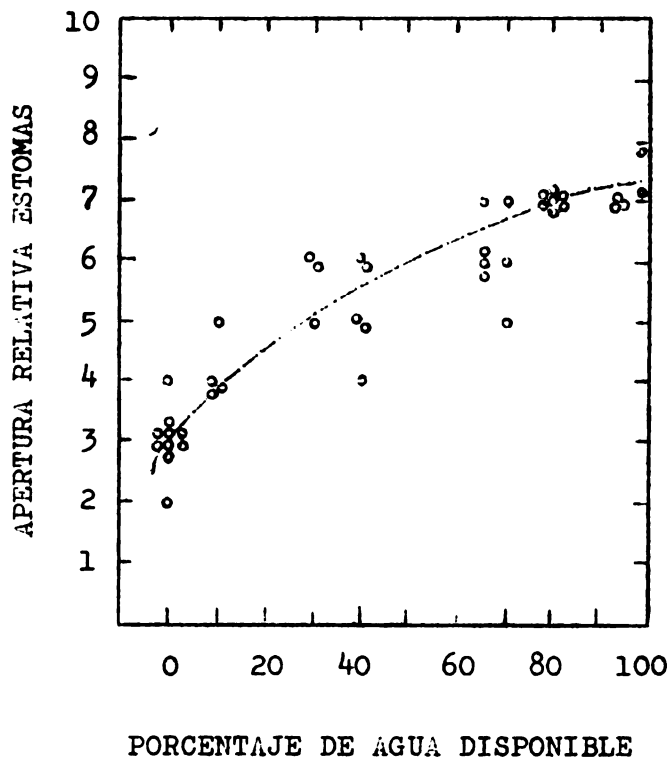


Fig. Nº 10. Apertura relativa de los estomas a varios niveles de humedad del suelo.

Estas determinaciones fueron realizadas en dos días consecutivos de 9:30 a 11:00 am. Durante ese tiempo hubo pleno sol; (las plantas estuvieron bajo una sombra dada por listones de zinc) la temperatura del aire fue de 28.3°C y 29.5°C; la humedad relativa fue de 80% y 60% respectivamente.



V. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados de este experimento muestran que conforme se incrementa el agua disponible del suelo se produce un aumento gradual en el peso seco total de la planta, de la parte aérea, del área foliar y aparentemente del crecimiento longitudinal. Esta respuesta está de acuerdo con la mayor parte de los resultados experimentales que se conocen: Richards & Wadleigh (56), Kelly (31), Stanhill (65), y Rode (59, 60) pero está en desacuerdo con el concepto de Veihmeyer & Hendrickson (70,71,72) según el cual la humedad del suelo comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez es igualmente aprovechable por la planta y por lo tanto, tiene igual influencia en el crecimiento de las plantas. Estos resultados también concuerdan con los de Lemeé & Boyer (38) quienes encontraron que el crecimiento de Coffea robusta se acentuaba cuando la humedad del suelo subía del punto de marchitez a la capacidad de campo.

Se debe considerar que la estimación del efecto de la humedad del suelo proviene de los tres niveles de humedad empleados en el experimento: 0%, 40%, y 80% de agua disponible, los cuales no guardan necesariamente la misma proporción en cuanto a la fuerza con la que el agua está siendo retenida por el suelo. También se debe aclarar que el término nivel de humedad no se usa con un sentido estático sino más bien, representa aproximadamente el nivel mínimo al que llegaron las fluctuaciones de humedad en cada tratamiento.

Se puede observar que tanto en el peso seco total, el de la parte aérea, la superficie foliar y el crecimiento longitudinal, el efecto de la humedad del suelo fue marcado cuando las plantas recibieron fertilizante

nitrogenado, mientras que en las plantas sin nitrógeno, este efecto fue menor, siendo nulo en el área foliar. Esto indica que el mayor crecimiento originado a niveles más altos de humedad se llevó a cabo gracias a un mejor aprovechamiento del nitrógeno, lo que no sucedió en plantas sin este fertilizante. Se puede decir que el fertilizante nitrogenado fue más eficiente cuando la humedad del suelo aumentó del punto de marchitez al 80% de agua disponible. La respuesta de las plantas sin nitrógeno muestra que prácticamente los tres niveles de humedad ensayados no tuvieron influencia sobre el crecimiento, lo que podría interpretarse como una respuesta ajustada a la teoría de Veihmeyer, pero este resultado debe ser tomado con reserva debido a la deficiencia de nitrógeno que sufrieron estas plantas. Este tipo de respuesta de las plantas a la humedad del suelo según la fertilidad del mismo fue considerado por Hagan (24). Este autor cita un trabajo en el cual la diferencia en la producción de maíz entre el tratamiento relativamente húmedo y el seco aumentó con las mayores cantidades de fertilizante.

Por los resultados del peso seco de la raíz se puede ver que el nitrato de sodio produjo una notable tendencia a disminuir el crecimiento conforme decrece la humedad del suelo. Es posible que la significación al 10% de probabilidad obtenida en la función lineal de las humedades se haya debido a este efecto ya que las otras curvas mostraron tendencias más leves. Esta respuesta, así como los valores más bajos de este fertilizante comparado con los de urea y el testigo, hacen pensar que el nitrato de sodio ha tenido un efecto osmótico o tóxico o ambos a la vez, cuya influencia fue menor a niveles más altos de agua disponible debido a una mayor dilución de las sales. Aunque la cantidad de nitrógeno fue la misma para las dos fuentes, la cantidad de fertilizante

correspondiente en forma de nitrato fue de 6.2 g y la de urea de 2.2 g debido a diferencias en la riqueza de nitrógeno. El efecto depresivo que tuvo la fertilización con nitrato de sodio en el tratamiento más seco se dejó notar también en los resultados de peso seco total donde este fertilizante produjo en promedio un 10% menos que el testigo, se nota menos en la parte aérea donde esta diferencia fue de 3.4% y produjo la misma superficie foliar en ambos tratamientos; también produjo el más bajo crecimiento longitudinal de las plantas. Por lo visto, la aplicación de nitrato de sodio fue ventajosa con respecto al testigo, únicamente cuando el agua disponible en el suelo no bajó más del 40%.

El análisis de la relación raíz/parte aérea hecha con el objeto de ver si en realidad existe desproporción en la raíz y parte aérea de las plantas con nitrato en comparación con las plantas sin nitrógeno, mostró que estas diferencias fueron debidas únicamente al menor desarrollo de la parte aérea en las plantas sin nitrógeno. Considerando los valores notablemente más bajos obtenidos con los tratamientos con nitrógeno se puede deducir que la aplicación de nitrógeno tuvo influencia importante en la producción de parte aérea. Es interesante observar que estas relaciones difieren poco en ambas fuentes a pesar de haber diferencias altamente significativas entre ellas en el peso seco total y en el peso seco de la parte aérea, y son también casi las mismas en todos los niveles de humedad a pesar de que se encontró una regresión lineal significativa en el efecto de los niveles de humedad sobre el peso seco total y sobre el peso seco de la parte aérea. Esto demuestra que para una aplicación dada de nitrógeno en el suelo, los tres niveles de humedad aumentaron en forma paralela el desarrollo proporcional de la parte aérea y de la raíz del cafeto.

El aumento que produjeron las fuentes nitrogenadas en el área foliar del café coincide con el resultado de Huerta (27) en esta misma especie y con los de Watson (74). El mayor desarrollo debido a un nivel más alto de agua disponible también está de acuerdo con los resultados citados por Watson (74) y con los de otros autores (28, 35, 66). Es posible que los aumentos de crecimiento obtenidos en términos de peso seco y crecimiento longitudinal hayan sido debidos a la mayor capacidad fotosintética que tuvieron las plantas al disponer de una superficie foliar más grande. Por esto la interacción encontrada entre humedad del suelo y fertilizante nitrogenado es una respuesta importante de la aplicación simultánea de ambos factores.

La notable disminución en el incremento del crecimiento longitudinal que sufrieron los cafetos sin fertilizante nitrogenado a partir de aproximadamente la décima semana evidentemente fue debida a falta de nitrógeno. Es posible que la regularidad observada en el crecimiento inicial fue debida al contenido de nitrógeno que tuvo el suelo. Su agotamiento trajo consigo una notable reducción en el crecimiento de las plantas y el amarillamiento característico de las hojas.

La menor influencia que tuvo el nitrato de sodio sobre el crecimiento vegetativo en comparación con la urea puede interpretarse como debida primero, a un efecto osmótico y también debida a un efecto tóxico del sodio o de otras impurezas, como se puede deducir de la necrosis presentada en el margen de algunas hojas. Fernández (17) encontró este mismo síntoma en diversos grados al probar tres niveles de nitrato de sodio en Turrialba. Aunque no se sabe con certeza cual es la causa, se cree que pudiera ser debido a un exceso de sodio. Robinson (57) encontró que la fertilización con nitrato de sodio aumentó significativamente el

contenido de sodio en las hojas de los cafetos en relación a plantas sin fertilizar. Por otra parte es posible que el uso de la urea haya favorecido el crecimiento de los cafetos debido al suministro de nitrógeno en forma de amonio que se produce en su aplicación. Según se ha informado en trabajos con soluciones nutritivas (45) la presencia de nitrógeno en esta forma fue esencial para el buen crecimiento del café.

Si se comparan los valores de nitrógeno encontrados con la escala de contenido foliar confeccionada por Chaverri, Bornemisza y Chaves (10) para plantas en producción, se puede ver que los valores presentados por el nitrato de sodio al 0% y 40% de agua disponible corresponden a un contenido alto. Los valores de urea a los mismos niveles de humedad y los de nitrato de sodio al 80% de agua disponible están considerados como un contenido mediano y el porcentaje bajo corresponde solamente al valor del 80% de agua disponible para urea. Finalmente en los valores considerados deficientes, inferiores al 2% se encuentran los tres contenidos de las plantas sin fertilización nitrogenada. Si se considera el desarrollo de la parte aérea en relación a estos valores, se verá que con excepción de las plantas sin fertilizar, los valores más bajos de nitrógeno corresponden con partes aéreas mayores. Así se observa las curvas correspondientes de nitrógeno foliar y las de peso seco de la parte aérea producidas por los niveles de humedad del suelo se verá que estas curvas siguen tendencias contrarias, es decir que mientras aumenta el peso seco de la parte aérea hay una disminución en el contenido de nitrógeno. Esto podría sugerir que la diferencia entre porcentajes de nitrógeno foliar podría haberse debido a un efecto de "concentración" del nitrógeno en plantas del tratamiento más húmedo con relación a las del tratamiento más seco. Haciendo la comparación entre fuentes nitrogenadas

durante la época de sequía por Chaverri, Bornemisza & Chaves (10); Müller (49, 50); Loué (40) y Espinoza (16). Es necesario advertir sin embargo que tales resultados son difícilmente comparables a los del presente trabajo debido a las condiciones muy diferentes bajo las cuales se realizaron. Así los trabajos mencionados se efectuaron en el campo, con plantas adultas, en producción cuyo nitrógeno foliar estuvo afectado por la extracción que hace de este elemento el desarrollo de los frutos (12, 13) durante ese período; no se conoció la humedad del suelo y es indudable que en la estación seca bajó del punto de marchitez por lo menos en la capa superficial de suelo donde se encuentran la mayoría de las raíces absorbentes. Las plantas con esta pérdida de nitrógeno sufrieron por lo tanto de un déficit de agua que coincidió además con un tiempo de irradiación solar más intensa, que como se sabe también influye en la acumulación del nitrógeno foliar. En el presente trabajo mientras tanto, se usaron plantas jóvenes de café, las que no sufren esta pérdida de nitrógeno ni el consecuente amarillamiento como lo observó Pereira (55). La humedad del suelo varió dentro de los límites del agua disponible, llegando en su máximo descenso alrededor del punto de marchitez en el tratamiento más seco.

Los porcentajes relativos de clorofila encontrados dan la idea de su directa relación con el contenido de nitrógeno foliar por las mismas tendencias que tienen las curvas. La disminución en el porcentaje de clorofila que trajo consigo el aumento de la humedad del suelo, así como el incremento causado por la fertilización nitrogenada está de acuerdo con los resultados obtenidos por El Tomi & Wolfe (14) con cítricos, y con las observaciones de Moore & Richards (48) en aguacate. Los valores tan bajos de clorofila en las plantas sin fertilizante nitrogenado fueron

se ve que a la mayor parte aérea producida por la urea correspondió menos porcentaje de nitrógeno foliar comparado a la relación inversa obtenida con el nitrato de sodio. De aquí también se puede deducir que las plantas con nitrato de sodio que mostraron el contenido foliar más alto de nitrógeno estuvieron limitadas en su desarrollo por algún factor que provino de este fertilizante. También se debe considerar que la mayor absorción de nitrógeno en estas plantas podría provenir de una mayor asequilabilidad de los aniones nitrato presentes en el suelo en comparación con la menor disponibilidad del catión amonio debido a su adsorción por las partículas de arcilla.

Esto parece indicar que el contenido de nitrógeno foliar no siempre puede servir como un índice para estimar la eficiencia de un fertilizante. En este experimento se dio el caso que las plantas fertilizadas con nitrato de sodio tuvieron los porcentajes más altos de nitrógeno en el tratamiento más seco, mientras que el peso seco total correspondiente a este tratamiento fue el más bajo (en promedio fue 10% inferior al testigo). Por otro lado el porcentaje de nitrógeno más bajo de las plantas fertilizadas correspondió con los mayores valores de peso seco y área foliar. Por estas razones así como por los datos de crecimiento longitudinal, no se debe esperar que siempre exista la correlación entre porcentaje de nitrógeno foliar y crecimiento que encontró Boss (16).

La más alta acumulación de nitrógeno que se encontró en las hojas a los niveles más bajos de agua disponible, está de acuerdo con la conclusión presentada por Wadleigh & Richards (73) en su revisión de literatura y a muchos experimentos antes citados (14, 15, 42, 46, etc.) Este concepto es contrario al que actualmente se tiene con respecto al café, basado en los mínimos valores de nitrógeno foliar encontrados

una consecuencia de la carencia de nitrógeno que tuvieron. Estas deficiencias probablemente fueron las responsables de la menor superficie foliar, peso seco y crecimiento longitudinal de dichas plantas.

Aunque no se sabe en definitiva si el contenido de clorofila de las hojas afecta la intensidad fotosintética, en el presente trabajo se encontró que en las plantas fertilizadas los porcentajes más bajos de clorofila estuvieron relacionados con un crecimiento vegetativo más alto. Es probable que las plantas que recibieron fertilizante nitrogenado, en presencia de los niveles más altos de agua disponible hayan desarrollado una fotosíntesis más intensa, que produjo una mayor cantidad de materia seca y que en consecuencia, bajó la concentración de nitrógeno foliar y de clorofila.

El decrecimiento de la apertura de los estomas desde el 70% de agua disponible hasta el punto de marchitez, probablemente ocasionó una disminución de la actividad fotosintética mediante la restricción de la capacidad de difusión de gases de los estomas. Este efecto podría ser la causa o una de las causas de la relación encontrada entre humedad del suelo y crecimiento. Debe tenerse en cuenta sin embargo, que los resultados obtenidos en las determinaciones de la apertura de los estomas deben ser tomados con reserva debido al pequeño número de observaciones que se hicieron.

Finalmente debe considerarse que las plantas que crecieron en las macetas produjeron un sistema radical que ocupó casi todo el volumen del suelo disponible, como se observó al hacer la extracción de las raíces. En estas condiciones las plantas pudieron aprovechar solamente el agua que se encontraba en ese volumen limitado, habiendo estado superadas al suministro de agua que se hizo. Según el concepto de Hudson

(26) cuando las raíces no pueden ocupar otras zonas del suelo con mayor humedad, pequeñas reducciones en el contenido de agua pueden retardar el crecimiento de la planta. Esta dependencia más acentuada al contenido de humedad del suelo puede haber sido el caso del presente experimento. La limitación antes expuesta también se aplicaría a la extracción de elementos nutritivos en un volumen determinado. Por otra parte, el uso de macetas en esta clase de experimentos según consideró Stanhill (65) tiene la ventaja de que permite medir con más exactitud el grado de humedad del suelo a disposición de las raíces que en el campo donde éstas se extienden a gran profundidad.

En resumen se puede concluir que la respuesta de las plantas de café a variaciones de la humedad disponible del suelo en las condiciones del presente experimento estuvo afectada por el suministro y fuente de nitrógeno que se usó.

VI. RESUMEN

El objeto del presente trabajo fue el de conocer el efecto de tres niveles de disponibilidad de agua en el suelo en el crecimiento y absorción de nitrógeno en plantas jóvenes de cafeto. El experimento se llevó a cabo en invernadero, durante 20 semanas, en plantas de cafeto sembradas en macetas. Se usó un diseño factorial en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en regar cuando la humedad del suelo se redujo a: (H_0) 0%, (H_1) 40% y (H_2) 80% de agua disponible. Cada uno de estos niveles llevó 1 g de nitrógeno en forma de (U) urea, (N) nitrato de sodio y (O) sin fertilizante. Se llevó a cabo una regulación diaria de la humedad del suelo mediante el peso de las macetas. Se describe el criterio usado para calcular el peso en el punto de marchitez y la capacidad de campo en cada maceta. Con estos valores se calcularon los tratamientos. Cuando el peso de la maceta descendió al de su tratamiento respectivo se aplicó el agua hasta que dicho peso llegara al de la capacidad de campo. Se describe como se hizo la corrección del peso debida al crecimiento de las plantas.

Cuando se aplicó un gramo de nitrógeno en forma de urea se obtuvo un aumento notable en el peso seco total, el de la parte aérea, la superficie foliar y aparentemente el crecimiento longitudinal, conforme se aumentó la humedad del suelo del punto de marchitez al 80% de agua disponible. Cuando se aplicó la dosis equivalente de nitrógeno en forma de nitrato de sodio comercial, estos aumentos fueron menores pero cuando la humedad del suelo descendió hasta el punto de marchitez hubo una ligera reducción en el crecimiento con respecto al testigo. Aparentemente esto se debió a un efecto tóxico. En las plantas sin fertilizante

nitrogenado el aumento del agua disponible en el suelo tuvo poco efecto sobre el peso seco y no influyó en el área foliar. Estas plantas mostraron clorosis después de la mitad del tiempo que duró el experimento. La intensificación de la clorosis estuvo asociada con una disminución notable en el crecimiento longitudinal en los dos niveles más altos de humedad.

La fertilización con urea y con nitrato de sodio bajó la relación raíz/parte aérea con respecto a las plantas testigo debido a su mayor producción de parte aérea. Esta relación no fue afectada por la variación de la humedad del suelo entre el punto de marchitez y el 80% de agua disponible.

Contrariamente al concepto existente en café la disminución de la humedad disponible del suelo produjo un aumento en el contenido de nitrógeno de la planta. Se discuten estos resultados en relación a la variación del nitrógeno foliar informado por otros autores en condiciones de campo. Las plantas con nitrato de sodio presentaron el más alto contenido de nitrógeno foliar, luego las plantas con urea, y las que no llevaron fertilizante nitrogenado mostraron porcentajes deficientes de este elemento. Las curvas del porcentaje relativo de clorofila tuvieron tendencias similares que las de nitrógeno foliar. Tanto el contenido de nitrógeno foliar como el porcentaje relativo de clorofila estuvieron en relación inversa con el peso seco y la área foliar de las plantas.

Resultados preliminares mostraron que aparentemente la apertura de los estomas decreció a partir del 70% del agua disponible pero es necesaria más información al respecto.

SUMMARY

The main objective in the present experiment was to determine the effect of three levels of water availability in the soil on the growth and absorption of nitrogen by young coffee plants. The work was conducted in a greenhouse using potted coffee plants and lasted for 20 weeks. A factorial arrangement was used with four replications of a randomized complete block design. The treatments consisted in applying water when the soil moisture was reduced to (H₀) 0%, (H₁) 40% and (H₂) 80% of available moisture. Each one of those levels received three further treatments consisting of (O) without fertilizer, or 1 g of nitrogen in the form of (N) sodium nitrate, or (U) urea. A daily record of weight was carried for each one of the plants throughout the experiment. A description is made of the criteria followed to determine the wilting point and the field capacity for each of the pots. With this information the treatments were calculated. When the weight of the pot fell to a certain level, according to its treatment, water was added up to the field capacity. A correction was made periodically to account for the growth of the plants.

When nitrogen was applied as urea there was an increase in total dry weight, dry weight of the tops, foliar area and apparently longitudinal growth, as soil moisture increased from the wilting point to 80% available water. When sodium nitrate was used these same increases were obtained although in a smaller scale; however when the soil water was reduced down to the wilting point there was actually a decrease in the rate of growth of these plants in comparison with the check. This may

be attributed to a possible toxic affect of the nitrate. In these plants without fertilizer the increase in soil moisture did not have any significant effect on growth or foliar area. These same plants developed chlorosis about the middle of the experiment. The progressive intensification of the chlorosis was associated with a marked stoppage of longitudinal growth in the two higher levels of soil moisture.

Fertilization with urea and sodium nitrate decreased the root/top ratio in comparison with the check plants, due to a larger aerial part. This ratio was not affected by variations in soil moisture from the wilting point to 80% available moisture.

In disagreement with existing concepts in relation to coffee, decreases in soil moisture were associated with increases in nitrogen content of the plants. These results are discussed in relation to results obtained by other workers under field conditions. Plants treated with sodium nitrate showed the highest nitrogen contents followed by those receiving urea and finally by the checks which had percentages considered deficient for that element. The relative content of crude chlorophyll was parallel to that of nitrogen showing the same tendencies. Foliar nitrogen and relative chlorophyll content were inversely associated with dry weight and foliar area of the plants.

Preliminary results seem to indicate that stomatal aperture decreased when soil moisture was reduced below 70% of field capacity.

VII. LITERATURA CITADA

1. ALVIM, PAULO DE T. Fisiología del cafeto. En: Curso Internacional de "Bases Fisiológicas de la Producción Agrícola", Octubre 26-Diciembre 12, 1959. Conferencias. Lima, Perú. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Andina, 1959? v.I, 16 p. (BPFA/1 Cafeto) (Mimeografiado).
2. _____ La posibilidad de reconocer la necesidad de riego en maíz, algodón y caña de azúcar por la medición de la apertura de los estomas. *Agronomía (Perú)* 23(37-88):7-17. 1956.
3. _____ "Recientes progresos en nuestro conocimiento del árbol de café. I. Fisiología". En: Progresos en la técnica de la producción de café; traducción de la edición especial de Coffee & Tea Industries, 81(11) 1958. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959. pp. 11-23. (Materiales de Enseñanza de Café y Cacao). No. 7
4. _____ Stomatal opening as a practical indicator of moisture deficiency in cacao. In Inter-American Cacao Conference, 7th, Palmira, Colombia, July 13-19, 1958. Bogotá, División de Investigaciones Agropecuarias, 1958. pp. 12-19.
5. _____ & Havis, J. R. An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. *Plant Physiology* 29(1):97-98. 1954.
6. BOSS, MANLEY LEON. Some external and internal factors related to the growth cycle of coffee. Thesis. Turrialba, Costa Rica, Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1951. 64 p.
7. BRAY, ROGER H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Science* 78(1):9-22. 1954.
8. CANNEL, G. H., BINGHAM, F. T., & GARBER, M. J. Effects of irrigation and phosphorus on vegetative growth and nutrient composition of tomato leaves. *Soil Science* 89(1):53-60. 1960.
9. CASTILLO, Z., JAIME & PARRA, H. JAIME. La utilización del invernadero en el estudio de los fertilizantes en café; ensayo de uniformidad. *Cenicafé*. (Colombia) 11(2):41-50. 1960.
10. CH. VERRI R., BORNEMISZA S., ELEMER & CHAVES S., FRANCISCO. Resultados del análisis foliar del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica, Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola. Información Técnica no. 3. 1957. 39 p.
11. CELESTINO, ANDRES F. The effects of irrigation, nitrogen fertilization and maleic hidrazide spray on the yield, composition and storage behavior of bulbs of two onion varieties. *The Philippine Agriculturist* 44(10):479-501. 1961.

12. COOIL, BRUCE J. Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona. Kona, Hawaii, Coffee Information Exchange, 1954. 13 p.
13. _____ & NAKAYAMA, MARTHA. Carbohydrate balance as a major factor affecting yield of the coffee tree. Hawaii Agricultural Experiment Station Progress Notes no. 91. 1953. 16 p.
14. EL TOMI, A. L. & WOLFE, H. S. A study of some responses of Florida citrus trees to nitrogen application and irrigation. American Society for Horticultural Science. Proceedings 65:113-120. 1955.
15. EMBLETON, T. W., ET AL. Effects of irrigation treatments and rates of nitrogen fertilization on young Hass avocado trees. IV. Macronutrient content of leaves. American Society for Horticultural Science. Proceedings 71:310-314. 1958.
16. ESPINOSA, FLORA M. Resultados preliminares del análisis foliar del cafeto (Coffea arabica L. var bourbon (B. Rodr.) Choussy) en El Salvador. Café de El Salvador. 30(348-349):663-708, 1960; 31(350-351):9-41. 1961; 31(352-353):141-157, 1961.
17. FERNANDEZ, CARLOS ENRIQUE. Efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el cafeto. Tesis. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1955. 52 p.
18. FERNANDEZ, RAMON G. & LAIRD, R. J. Yield and protein content of wheat in central Mexico as affected by available soil moisture and nitrogen fertilization. Agronomy Journal 51(1):33-36. 1959.
19. FUJITA, K., ET AL. The effects of soil moisture and fertilizer applications on the growth of Satsuma orange nursery trees and persimmon trees. Parts 1 and 2. Bull. Kanagawa agric. Exp. Stat. hort. Branch, No. 6:1-6. 1958. Original not available for examination, abstracted in Horticultural Abstracts 29(2) abstract 1805. 1959.
20. GATES, C. T. The response of the young tomato plant to a brief period of water shortage. III Drifts in nitrogen and phosphorus. Australian Journal of Biological Sciences 10(2):125-146. 1957.
21. GINGRICH, J. R. & RUSSELL, M. B. A comparison of effects of soil moisture tension and osmotic stress on root growth. Soil Science 84(3):185-194. 1957.
22. _____ Effect of soil moisture tension and oxygen concentration on the growth of corn roots. Agronomy Journal 48(11):517-520. 1956.

23. HADDOCK, J. L. Yield, quality and nutrient content of sugar beets as affected by irrigation regime and fertilizers. J. Amer. Soc. Sug. Beet Teach. 10:344-355. Original not available for examination, abstracted in Soils and Fertilizers 23(1) abstract 443. 1960.
24. HAGAN, ROBERT M. Factors affecting soil moisture-plant growth relations. In: International Horticultural Congress, 14th, The Hague-Schoveningen, Netherlands, 29 August-6 September, 1955. Report. Wageningen, Netherlands, H. Veenman & Zonen, 1955?. v.1 pp.82-102.
25. HANWAY, J. J. & ENGLEHORN, A. J. Nitrate accumulation in some Iowa crop plants. Agronomy Journal 50(6):331-334. 1958.
26. HUDSON, J. P. Las plantas y su necesidad de agua. Endeavour 16(62):84-87. 1957.
27. HUERTA S.ARMANDO. La influencia de la luz en la eficiencia asimilatoria del cafeto. Tesis. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1954. 69 p. (mecanografiado).
28. IVANOV, V. P. Effect of foliar nutrition and soil moisture on the growth and development of maize. Plant Physiology (Fiziologiya Rastenii) 6(3):368-371. 1959.
29. JANES, B. E. The effect of varying amounts of irrigation on the composition of two varieties of snap beans. American Society for Horticultural Sciences. Proceedings 51:457-462. 1948.
30. JENNE, E. A. ET AL. Change in nutrient element accumulation by corn with depletion of soil moisture. Agronomy Journal 60(2):71-74. 1958.
31. KELLEY, O. J. Requirement and availability of soil water. Advances in Agronomy 6:67-94. 1954.
32. KENYA. Coffee Research Station, Ruiru and Coffee Research Services. Kenya Annual Report. Nairobi. 1958/59, 1959. 70 p.
33. _____ Coffee Research Station, Ruiru and Coffee Research Services. Kenya Annual Report. Nairobi. 1959/60, 1960. 99 p.
34. KESSLER, B. Nucleic acids as factors in drought resistance of higher plants. In: Recent advances in Botany. Lectures & Symposia presented to the IX International Botanical Congress, Montreal, 1959. Toronto, University of Toronto Press. 1961 Vol. 2, pp. 1153-1159.
35. KENWORTHY, A. L. Soil moisture and growth of apple trees. American Society for Horticultural Science. Proceedings 54:29-39. 1949.

36. KILMER, V. J. ET AL. Yield and mineral composition of eight forage species grown at four levels of soil moisture. *Agronomy Journal* 52(2):282-285. 1960.
37. KONOVALOV, YU., B. Effect of soil moisture deficiency on grain ripening in spring wheat. *Plant Physiology (Fisiologiya Rastenii)* 6(2):189-195. 1959.
38. LEMÉE GEORGES ET BOYER JACKES. Influence de l'humidité du sol sur l'économie d'eau et la croissance de caféiers du groupe canephora cultivés en cote d'ivoire. *Café, Cacao, Thé* 4(2):55-63. 1960.
39. LOTT, W. L. ET AL. La técnica del análisis foliar en los estudios del café. New York, Instituto IBEC de Investigaciones Técnicas, 1956. 29 p. (Boletín no. 9).
40. LOUÉ, A. La nutrición mineral del cafeto robusta y su fertilización en la Costa de Marfil. *Fertilité* no. 5:27-60. 1958.
41. MADRID. Ministerio de Agricultura. Estación de Química Agrícola. Instrucciones para el análisis de tierras preparadas por la Estación de Química Agrícola. Madrid, 1924. 96 p.
42. MASON, A. C. The effect of soil moisture on the mineral composition of apple plants grown in pots. *Journal of Horticultural Science* 33(2):202-211. 1958.
43. McMURTREY, J. E., JR., ET AL. Effects of controlled soil moisture on growth, composition, yield and quality of Maryland tobacco. *Journal of Agricultural Research* 75 (9-10):215-249. 1947.
44. MEDCALF, J. C. "Mejor control del abastecimiento de agua para la producción del café". En: *Progresos de la técnica de la producción de café*; traducción de la edición especial de *Coffee & Tea Industries*, vol. 81; no. 11. Nov. 1958. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959. pp. 111-126. (Materiales de Enseñanza de Café y Cacao).
45. MENDES, HELI CAMARGO. Possível causa do insucesso de se cultivar cafeeiros adultos em solucoes nutritivas de tipo Hoagland. *Bragantia* 15 (nota no. 1):1-3. 1956.
46. MERRIL, SAMUEL, JR., & KILBY, W. W. Effect of cultivation, irrigation, fertilization, and other cultural treatments on growth of newly planted tung trees. *American Society for Horticultural Science. Proceedings* 59:69-81. 1952.
47. METWALLY, S. V. & POLLARD, A. G. Effect of soil moisture conditions on the uptake of plant nutrients by barley on the nutrient content of the soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 10(11):632-636. 1959.

48. MOORE, P. W. & RICHARDS, S. J. Effects of irrigation treatments and rates of nitrogen fertilization on young Hass avocado trees. II Relation to leaf tipburn, tree sunburn, shoot dieback, leaf scorch, leaf color, leaf size, tree vigor, and leaf moisture deficits. American Society for Horticultural Science. Proceedings. 71:298-303. 1958.
49. MULLER, LUDWIG E. Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (Coffea arabica L.) Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1959. 61 p. (Boletín Técnico nº 4).
50. _____ Mineral deficiencias in coffee in Costa Rica. Final Report presented to the Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola (STICA) in Costa Rica. Unpublished. San José, Costa Rica. 1954. 33 p.
51. _____ Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. Turrialba (Costa Rica) 11(1):17-25. 1961.
52. MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. Baltimore, Maryland, Munsell Color Company, Inc. 1954. Chart 5YR.
53. NELSON, C. E., & ROBINS, J. S. Nitrogen uptake by ladino clover-orchard grass pasture under irrigation as influenced by moisture, nitrogen fertilization and clipping treatments. Agronomy Journal 49(2):72-74. 1957.
54. PEREIRA, H. C. Further observations on the yellowing of coffee. Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin 15(170):262-263. 1950.
55. _____ Annual report of the agricultural chemist, Coffee Services, 1948. In Kenya Department of Agriculture, Annual Report. Nairobi. 1950. pp. 149-157.
56. RICHARDS, L. A., & WADLEIGH, C. H. Soil water and plant growth. In B. T. Shaw, ed. Soil Physical Conditions and Plant Growth. New York. Academic Press, Inc. 1952. pp. 73-251.
57. ROBINSON, J. B. D. Mineral nutrition of coffee. Preliminary results with the leaf analysis technique. East African Agricultural and Forestry Journal 17(1):1-9. 1961.
58. _____ Nitrogen studies in a coffee soil. I Seasonal trends of natural soil nitrate and ammonia in relation to crop growth, soil moisture and rainfall. Journal of Agricultural Science 55(3):333-338. 1960.
59. RODE, A. A. Development of the science of soil water in the U.S.S.R. Pochvovedenie (Moscow) nº 10:1-15. Translated from russian. Published for the National Science Foundation, Wash. D.C. and the Department of Agriculture, USA by the Israel Program of Scientific Translations. 1957. (OTS 60-21141).

60. RODE, A. A. The moisture properties of soils and underground strata. Moscow, The Academy of Sciences of the U.S.S.R., 1955. Translated from Russian. Published for the National Science Foundation, Wash. D.C. and the Department of Agriculture, USA by the Israel Program of Scientific Translations. 1960. 117 p. (OTS 60-51187).
61. SAIZ DEL RIO, J. F. & BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Departamento de Energía Nuclear, 1961. 107 p.
62. SCARSBROOK, C. E., BENNETT, O. L. & PEARSON, R. W. The interaction of nitrogen and moisture on cotton yields and other characteristics. *Agronomy Journal* 51(12):718-721. 1959.
63. SCHUMAKER, GILBERT & STERLING DAVIS. Nitrogen application and irrigation frequencies for western wheatgrass production on clay soil. *Agronomy Journal* 53(3):168-170. 1961.
64. SHEETS O., ET AL. The effects of different levels of moisture on the vitamin, mineral and nitrogen content of turnip greens. American Society for Horticultural Science. *Proceedings* 66:258-60. 1955.
65. STANHILL, G. The effect of differences in soil-moisture status on plant growth. *Soil Science* 84(3):205-214. 1957.
66. _____ Effects of soil moisture on the yield and quality of early turnips. I. Response to different sustained soil moisture regimes. *Journal of Horticultural Science* 33(2):108-118. 1958.
67. SUARES DE CASTRO, F. & RODRIGUEZ, G. A. Relaciones entre el crecimiento del café y algunos factores climáticos. Federación Nacional de Cafeteros, Chinchiná, Colombia. *Boletín Técnico* 2(16):1-31. 1956.
68. SYLVAIN, P. G. El café en relación al agua. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959. 46 p. (mimeografiado) (Materiales de Enseñanza de Café y Cacao). nº 11.
69. VAADIA, Y., RANEY F. C. & HAGAN, R. M. Plant water deficits and physiological processes In: *Annual Review of Plant Physiology* 12:265-292. 1961.
70. VEIHMEYER, F. J. Soil moisture. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Berlin, Springer-Verlag, 1956. Bd. 3:64-123.
71. _____ Soil moisture in relation to plant growth. In: *Annual Review of Plant Physiology* 1:285-304. 1950.
72. _____ & HENDRICKSON, A. H. Responses of a plant to soil-moisture changes as shown by guayule. *Hilgardia* 30(20):621-637. 1961.

73. WADLEIGH, C. H. & RICHARDS, L. A. Soil moisture and the mineral nutrition of plants. In: E. Truog, ed. Mineral Nutrition of Plants. Madison, Wisconsin. University of Wisconsin Press, 1951. pp. 411-450.
74. WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. In: Advances in Agronomy 4:101:145. 1952.
75. WHITEHEAD, E. I. & MOXON, A. L. Nitrate poisoning. South Dakota Agricultural Experiment Station Bulletin 424. 1952. 24 p.
76. YAROSH, N. P. Effect of water supply on biochemical changes in cotton leaves and seeds. Plant Physiology (Fiziologiya Rastanii) 6(2):211-214. 1959.

VIII. APENDICE

PROMEDIOS DE LAS DETERMINACIONES EFECTUADAS EN EL EXPERIMENTO

En todos los casos los números representan el promedio de cuatro plantas excepto los promedios de los efectos totales que provienen de doce plantas.

Cuadro No. 1.- Promedios del peso seco de la parte aérea, en gramos por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	42.85	50.73	52.71	48.76
N	29.13	40.18	45.84	38.38
O	30.14	28.94	32.93	30.67
HUMEDADES	34.04	39.95	43.82	

Cuadro No. 2.- Promedios del peso seco de la raíz, en g por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	14.27	15.97	16.20	15.48
N	9.35	11.55	13.07	11.32
O	12.60	14.62	14.65	13.96
HUMEDADES	12.07	14.05	14.64	

Cuadro No. 3.- Promedios de la relación raíz/parte aérea por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	.324	.309	.307	.313
N	.322	.288	.281	.297
O	.413	.490	.446	.450
HUMEDADES	.353	.362	.345	

Cuadro No. 4.- Promedios del peso seco total, en g. por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	57.10	66.70	68.95	64.25
N	38.52	51.70	58.92	49.72
O	42.75	43.57	47.57	44.63
HUMEDADES	46.12	53.99	58.48	

Cuadro No. 5.- Promedios de la superficie foliar, en dm² por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	39.82	45.50	47.25	44.19
N	29.65	41.13	44.16	38.31
O	29.08	23.02	27.23	26.45
HUMEDADES	32.85	36.55	39.54	

Cuadro No. 6.- Promedios de porcentaje de nitrógeno foliar por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	2.54	2.36	2.01	2.31
N	3.00	2.82	2.47	2.76
O	1.86	1.74	1.61	1.74
HUMEDADES	2.47	2.31	2.03	

Cuadro No. 7.- Promedios del porcentaje relativo de clorofila por planta.

	H ₀	H ₁	H ₂	FUENTES
U	83.0	67.2	65.7	72.0
N	93.0	88.2	73.0	84.7
O	55.0	57.2	48.2	53.5
HUMEDADES	77.0	70.9	62.3	

Cuadro No. 8.- Cuadrados Medios de los análisis de la variancia correspondientes a las medidas tomadas en el experimento.

Fuente de variación	G.L.	Peso seco total	Peso seco raíz	Peso seco p.aérea	Relación raíz/par- te aérea	Superficie foliar	Nitrógeno foliar	Porcentaje clorofila
Bloques	3	497.08	64.90	205.43	0.84	79.38	0.12	254.84
Fuentes	2	1,243.74 ^{▲▲}	53.10 [▲]	988.54 ^{▲▲}	8.44 ^{▲▲}	980.20 ^{▲▲}	3.18 ^{▲▲}	2,962.50 ^{▲▲}
Testigo vs nitrógeno	1	1,220.18 ^{▲▲}	2.46	1,331.45 ^{▲▲}	16.71 ^{▲▲}	1,753.31 ^{▲▲}	5.10 ^{▲▲}	4,950.12 ^{▲▲}
Urea vs nitrato	1	1,267.31 ^{▲▲}	104.17 ^{▲▲}	645.64 ^{▲▲}	0.16	207.09 ^{▲▲}	1.25 ^{▲▲}	975.37 [▲]
Humedades	2	469.57 [▲]	21.68	291.55 ^{▲▲}	0.10	134.94 ^{▲▲}	0.59 ^{▲▲}	651.58 [∅]
Función lineal	1	916.37 [▲]	39.52 [∅]	574.77 ^{▲▲}	0.04	268.87 ^{▲▲}	1.14 ^{▲▲}	1,290.66 [▲]
Función cuadrática	1	22.78	3.83	8.33	0.15	1.00	0.03	12.50
Fuentes x Humedades	4	71.73	1.16	61.57	0.36	99.15 ^{▲▲}	0.03	119.08
Error	23	133.89	9.95	38.06	0.27	16.76	0.05	217.88

▲▲ indica significación al 1% de probabilidad.

▲ indica significación al 5% de probabilidad.

∅ indica significación al 10% de probabilidad.