

RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO Y LA APERTURA DE ESTOMAS (*)

Por: **Gabriel Gonzalo Rico R.**

I.— INTRODUCCION

La necesidad de agua para la existencia y desarrollo de las plantas es evidente y su significado fisiológico muy grande.

Ningún otro factor influye o es tan determinante tanto en las estructuras internas como externas de la planta, siempre reflejadas en una producción, como lo hace el factor agua.

Por cuanto la fuente más eficiente y que realmente puede satisfacer las necesidades de agua en las plantas es el suelo, las determinaciones en el contenido de agua en éste tienen, por tanto, gran significado.

En regiones donde la precipitación fluvial es deficiente para el buen desarrollo de las plantas, pero que disfrutan de buenas facilidades para riego, la necesidad de estas determinaciones para poder determinar la deficiencia de agua en el suelo, se hace más evidente.

Toda investigación encaminada a verificar la posibilidad de emplear un método que pueda resultar práctico y de más fácil aplicación para poder hacer estas determinaciones con mayor frecuencia y en un número más elevado de veces que los métodos empleados hasta ahora, resulta de una gran importancia.

La mira fundamental del presente trabajo fue estudiar en nuestras condiciones la relación entre el contenido de agua en el suelo y la apertura de estomas por medio de las soluciones infiltradoras del método de Alvim y Havis con el fin de determinar las soluciones mejor indicadoras de una deficiencia de agua en el suelo o necesidad de riego al igual que el comportamiento de aquellas soluciones que reflejen contenidos suficientes del agua aprovechable.

(*) Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia del Dr. Emilio Ramírez R., a quien el autor expresa su gratitud.

El trabajo se dividió en pruebas de Invernadero y pruebas de Campo. Las primeras se llevaron a cabo en el Invernadero de la Granja Experimental de Palmira y las segundas tuvieron lugar tanto en plantaciones de maíz establecidas en terrenos de la Facultad de Agronomía como en la Granja Experimental.

II.— REVISION DE LITERATURA

A.—El agua del suelo:

Las relaciones entre la planta y el agua o "economía de agua de las plantas" ha sido motivo de estudio para una buena parte de investigadores debido a lo cual los conocimientos que se tienen al respecto son muy extensos.

El agua que realmente satisface las necesidades de las plantas se encuentra retenida, en mayor o menor grado, por el suelo.

Según la intensidad de la fuerza con que el agua es retenida en el suelo, existen en éste varios puntos "críticos" o de "equilibrio" que según Baver (5), son los siguientes:

- 1.—Coeficiente Higroscópico.
- 2.—Punto de Marchitamiento.
- 3.—Equivalente de Humedad.
- 4.—Capacidad de Campo.
- 5.—Punto de saturación.

La fuerza que retiene el agua en el suelo en su punto de marchitamiento parece estar en equilibrio con la fuerza de succión de la mayoría de las plantas (Blair, 6).

El agua aprovechable por las plantas es toda aquella comprendida desde el punto de marchitamiento hasta la capacidad de campo. A niveles inferiores al punto de marchitamiento las plantas no pueden aprovechar el agua pues sus fuerzas de succión son menores a la absorción ejercida por el suelo, y a la máxima capacidad de retención o punto de saturación, por estar ocupados todos los espacios todos los espacios porosos por el agua, sufre por deficiencia en la respiración de las raíces.

Alvim (4), afirma que un exceso de agua en el suelo causa el mismo efecto que una falta de la misma.

Desde el punto de vista de la aprovechabilidad del agua por las plantas, ésta se puede denominar como: Agua no aprovechable, agua aprovechable y agua supérflua (Blair, 6; Lyon, 7).

El concepto de que todo nivel de agua comprendido entre el punto de marchitamiento y la capacidad de campo es igualmente tomado por las plantas, no es aceptado por algunos porque se ha observado que a niveles cercanos al punto de marchitamiento las plantas reducen su absorción (Alvim, 1; Blair, 6).

B.—Métodos para determinar la humedad del suelo:

Los métodos para determinar la humedad del suelo se pueden dividir en Edafológicos y Fisiológicos. En los primeros los resultados los da el mismo suelo y en los segundos la planta.

1.— Métodos edafológicos:

Blair (6), discute algunos de los métodos más comunmente empleados como sigue:

a.— El método de la estufa es el más preciso pero requiere de un equipo relativamente costoso.

b.— Los tensiómetros dan resultados errados a tensiones mayores a 850 cms.

c.— En los métodos de resistencia eléctrica, refiriéndose a los Bouyoucos, sostiene que éstos pueden ser afectados por las sales del suelo al igual que deben calibrarse para cada condición.

d.— La punta gravimétrica: Sostiene que el bloque de yeso empleado alcanza la condición de equilibrio con el suelo en una forma muy lenta.

2.— Métodos fisiológicos:

Clements, citado por Alvim (4), desarrolló en Hawai el método de índice de humedad en las hojas que se basa en el contenido de agua en las vainas para efectuar una buena orientación del riego. Este método sólo se ha empleado en los cultivos de caña de azúcar e implica el empleo de otro método para determinar la cantidad de agua en la planta.

Con base al comportamiento que tienen los movimientos estomáticos cuando las plantas se encuentran a diferentes contenidos de agua en el suelo, se ha resaltado la importancia que pueden tener para una orientación práctica de las labores de riego (Alvim, 1).

Por cuanto la base del método empleado en el presente trabajo son los movimientos estomáticos, el autor creyó conveniente hacer una revisión de sus principios.

C.—Mecanismo de los estomas:

Los estomas son poros alargados y diminutos que se encuentran generalmente en el envés de las hojas de las plantas pero que pueden ocurrir a uno u otro o ambos lados de ellas (Rabinowitch, 10).

La estructura del aparato estomatal varía en detalles con las especies pero el rasgo general es un poro (ostiole) entre dos células "guardias" por donde se efectúa el paso del oxígeno, del dióxido de carbono y del vapor de agua (Meyer and Anderson, 9).

Rabinowitch (11), afirma que por centímetro cuadrado de hoja se pueden encontrar de 10,000 a 20,000 estomas.

Meyer and Anderson (9), sostienen que una planta de maíz puede tener de 140 a 240 millones de estomas y afirman, igualmente, que el número de estomas por unidad de superficie puede ser diferente en dos hojas de la misma especie si las plantas correspondientes han crecido la una en el campo y la otra en invernadero.

Los autores anteriormente citados dan un promedio de 5.200 y 6.800 estomas por centímetro cuadrado en maíz para el haz y el envés de la hoja respectivamente, y 19×5 micras como promedio en el tamaño.

Alvim (4) y Thomas (13) citan como influyentes en la apertura y cierre de los estomas a los siguientes factores:

- 1.— El contenido de agua en la hoja, el cual depende tanto de la cantidad de agua presente en el suelo como de la humedad relativa.
- 2.— La intensidad lumínica.
- 3.— La temperatura.

Por la presencia de la luz los estomas se abren para establecer un contacto directo entre las células del mesófilo y la atmósfera, con el fin de aumentar la absorción de gas carbónico para los procesos fotosintéticos (Alvim, 4).

Maximov (8), para explicar el efecto de la luz sobre la apertura de los estomas, dice que los cloroplastos de las células guardias, al ser capacitados por la luz para formar azúcares, aumentan la concentración en el contenido celular y por tanto su fuerza de succión al absorber más agua, las células se ponen túrgidas y los estomas se abren.

D.—Efecto del agua sobre la apertura de estomas.

Las plantas requieren de agua para su existencia y desarrollo, y la mayoría de ellas la necesitan en cantidades considerables para reponer las pérdidas por transpiración (Meyer and Anderson, 9).

Maximov (8), sostiene que por cada 1.000 gramos de agua absorbida por la planta, solamente de 3 a 4 grs. son utilizados para la formación de materia seca y que la cantidad restante se pierde por transpiración de la planta.

Thomas (13), sostiene al respecto que un 80% de las pérdidas se procesan a través de los estomas.

La absorción que verdaderamente puede satisfacer la necesidad de agua de las plantas es la que se efectúa a través de las raíces cuando hay un buen suministro de agua en el suelo (Alvim, 4).

Maximov (8), afirma que una de las condiciones esenciales para el funcionamiento normal de las células es que se encuentren saturadas de agua, lo que implica en la planta un sistema radicular bien desarrollado y un sistema de conducción.

Cuando hay un mal suministro de agua en el suelo las células

“guardias” no alcanzan su máxima turgencia y por ende los estomas su máxima apertura lo cual trae una disminución en la absorción de dióxido de carbono y en la fotosíntesis (Maximov, 8; Rawitscher, 12).

Como resultado de un bajo contenido de agua en el suelo se reduce la presión de turgencia de los células guardias por lo cual los estomas se cierran total o parcialmente (Meyer and Anderson, 9).

La sensibilidad de los estomas a la deficiencia de agua varía según las especies. Plantas de clima húmedo como el cacao y el caucho cierran sus estomas totalmente cuando hay una deficiencia de agua en el suelo, en tanto que las plantas de climas secos sólo lo cierran parcialmente (Alvim, 4).

Rawitscher (12), sostiene que una falta de agua conduce a un cierre de estomas, pero que éste se puede producir aunque haya un buen suministro de ella en el suelo, debiéndose entonces a un sistema insuficiente de conducción que no alcanza a sustituir toda el agua perdida por transpiración.

El mismo autor sostiene que este caso es muy frecuente durante ciertas horas del día en campos bien irrigados donde las plantas muestran síntomas de marchitamiento.

Meyer and Anderson (9), explican esta clase de marchitamiento como un resultado temporal debido al exceso de la transpiración sobre la absorción, y sostiene que cuando el contenido de agua en las hojas no decrece lo suficiente para inducir un marchitamiento visible, ocurre, por lo menos, un marchitamiento incipiente. Sostienen igualmente que aunque las raíces de las plantas se encuentren sumergidas en el agua se desarrolla un “déficit” interno que se traduce en una disminución en la apertura de estomas.

En base a la sensibilidad que tienen los estomas con relación al contenido de agua en el suelo, varios investigadores han resaltado la importancia que pueden tener los movimientos estomáticos para diagnosticar la necesidad de riego en los cultivos.

Según Alvim (1), Magness y Furr para medir las aperturas estomatales, con el fin de diagnosticar la falta de agua en manzanos, emplearon el microscopio, medida ésta que no se puede recomendar en la práctica.

Para aumentar la practicabilidad de la medida de los estomas se han empleado varios líquidos o series de ellos para efectuar la medida por el método llamado de “infiltración”.

Según Alvim y Havis (2), los líquidos o series de líquidos más comunmente empleados por varios investigadores fueron los siguientes:

Alcohol absoluto, benceno y xylol (método de Molish),

Aceite de parafina, aceite castor, trementina, petróleo y xylol (método de Dietrich),

Alcohol isobutílico y glicol en 11 mezclas que variaron desde alcohol isobutílico puro hasta glicol puro en pasos de 10% por volumen (Método de Schorn).

Alvim y Havis (2). perfeccionaron el método de infiltración empleando Nujol mineral diluido con una cualesquiera de las soluciones siguientes: xylol, kerosene, Bayol D2, n-Dodecano, n-tetradecano.

Una serie de 11 soluciones se puede preparar, en pasos de 10% por volumen, desde xylol puro (o n-Dodecano o n-Tetradecano o Bayol D2 o Kerosene) hasta Nujol puro.

Alvim and Havis (2), asignaron con números a las 11 soluciones resultantes correspondiendo el No. 1 al xylol puro o similares y el No. 11 al Nujol puro.

La infiltración de las soluciones en las hojas de las plantas disminuye a medida que aumenta el contenido de Nujol en la mezcla.

Para plantas con estomas relativamente pequeños, como en el caso del cacao que no es infiltrado con más del 80% de Nujol en la mezcla, se pueden emplear pasos menores al 10% (Alvim and Havis, 2).

Alvim (3), en trabajos efectuados sobre cacao, sostiene que la apertura de los estomas puede ser empleada para indicar una deficiencia de agua en el suelo y recomienda a la solución No. 7 (60% nujol, 40% xylol) como indicadora de una deficiencia de agua en el suelo por debajo del 50% de agua aprovechable en el cacao.

Según el mismo autor, el agua debe ser aplicada cuando la infiltración de dicha solución en el cacaotero no se efectúe.

Alvim (1), en trabajos realizados en la Costa del Perú, encontró que la solución No. 9 (80% nujol, 20% xylol) se podía recomendar para distinguir, en algodón, maíz y caña de azúcar, plantas con buen y mal suministro de agua en el suelo.

Alvim (1), en los trabajos realizados en algodón, observó que las hojas primarias reflejaban mayores aperturas de estomas que las secundarias y sostiene, igualmente, que la solución indicadora de una falta de agua en el suelo se debe determinar para cada cultivo.

III.— MATERIALES Y METODOS

El análisis mecánico del suelo se hizo de acuerdo con el método del Hidrómetro.

El contenido de agua en los puntos críticos del suelo se obtuvo de acuerdo con lo descrito por Bayer (5).

Para el cálculo del contenido de agua en el punto de marchitamiento permanente se empleó maíz y las cajas con suelo destinadas para la determinación de la capacidad de campo una vez saturadas de agua como lo anotado por Baver (5), se dejaron drenar por 48 horas.

Esta última determinación se tomó de acuerdo con Piper (10) quien asume que de 48 a 72 horas después de haber saturado las muestras de suelo con agua, el movimiento de ésta en aquél cesa.

La planta empleada como indicadora en el presente trabajo, fue el maíz.

El método de infiltración utilizado para medir la apertura de los estomas, mira fundamental de estudio en el presente trabajo, fue el de Alvim y Havis (2) con 11 soluciones preparadas con Nujol y Xylol en mezcla desde Xylol puro (Solución No. 1) hasta Nujol puro (Solución No. 11) en pasos de 10% por volumen.

Durante las horas de observación se tomaron registros de humedad relativa y temperatura por medio de un Polímetro marca Lambrecht previamente calibrado y para el estado del cielo o nubosidad se siguió el método empleado en el Código Internacional de Meteorología.

Siguiendo las recomendaciones dadas por Alvim (1), las soluciones se aplicaron sobre el haz de las tres primeras hojas abiertas y se esperaba un minuto como máximo para observar el envés con el fin de determinar si había o no infiltración.

A excepción de las observaciones efectuadas con el fin de determinar el ciclo de apertura de los estomas, la mayor parte de las observaciones se efectuaron entre las 9 a.m. y las 3 p.m. pues pruebas preliminar indicaron una mejor diferenciación durante este lapso entre los distintos niveles de agua empleados en el invernadero.

A.—En el Invernadero:

En el invernadero se empleó un total de 24 materas y 12 bloques de Bouyoucos.

El peso del suelo, seco al aire y tamizado, fue de 6 Kgs. por matera y los bouyoucos se instalaron a media profundidad.

Después de sembrar semillas de maíz se agregó agua a todas las materas hasta un contenido aproximadamente igual al equivalente de humedad y se mantuvo por 15 días.

Cuando las plantas tuvieron 15 días de edad se dejaron dos por matera hasta los 40 días y de ahí en adelante, hasta los 75 días, solamente una.

Los niveles de agua aprovechable empleados fueron 20%, 40%.

60%, 80%, 100%. Estos se obtuvieron a los 18 días de edad de las plantas.

Los cálculos para obtener los niveles empleados se basaron en los datos obtenidos en los análisis del contenido de agua en los puntos críticos tomando como 100% de agua aprovechable la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de marchitamiento permanente.

Los niveles obtenidos con base en lo anterior y mediante "pesadas" sucesivas se reajustaron con ayuda de los Bouyoucos cuyos registros reflejaron, al principio, muy pocas diferencias.

A cada nivel de agua aprovechable correspondió, a excepción del 20% que en un principio le correspondieron 8 materas, 4 materas de las cuales dos estaban provistas de Bouyoucos.

A los 40 días de edad de las plantas, cuatro de las materas con 20% de agua aprovechable recibieron un contenido de agua igual al 80% con el fin de determinar la influencia de la altura sobre la apertura de los estomas.

Los niveles de agua se mantuvieron constantes mediante 2 a 3 "pesadas" diarias las que se verificaban, en forma repartida, desde las horas del mediodía hasta las cinco de la tarde periodo este de tiempo durante el cual se efectuaban las mayores pérdidas por evapotranspiración.

A cada matera se le asignó el número de su peso correspondiente de acuerdo al contenido de agua aprovechable.

Las pruebas de infiltración se iniciaron a los 20 días de edad de las plantas y terminaron a los 75 cuando se cortaron las plantas y se pusieron a la estufa a una temperatura de 65 a 70 grados cenígrados con el fin de determinar el peso seco.

Cabe anotar igualmente que inmediatamente después de cada observación se limpiaban las hojas con el fin de remover las soluciones.

B.—En el Campo:

Las observaciones que se efectuaron en el campo cubrieron tres cultivos establecidos dentro de la misma clase de suelo empleado en el trabajo de invernadero, uno de los cuales disfrutaba de facilidades para riego.

Para las pruebas de infiltración se siguieron las recomendaciones de Alvim (1).

Durante las horas de observación además de tomar datos de humedad relativa, temperatura y nubosidad, de acuerdo a los métodos empleados para las observaciones de invernadero, se tomaban de 3 a 4 muestras de suelo, con un barreno tipo espiral, a una pro-

fundidad de 30 cms. siguiendo los pasos tomados durante las pruebas de infiltración.

Las muestras de suelo tomadas se colocaban en frascos de tapa esmerilada previamente pesados, se hacían las pesadas respectivas en una balanza de precisión y se ponían a la estufa a una temperatura de 105-110 grados C. durante 4 días (peso constante).

Los cálculos del contenido de agua en el suelo se hicieron en base del peso en seco.

Después de las aplicaciones de riego, o en caso de precipitaciones, se dejaba transcurrir de 1 a 2 días para nuevas observaciones.

Cada prueba de infiltración se repetía en la misma planta y se tomaban 10 plantas como mínimo. La solución que infiltrara en más del 50% de las pruebas se la tomaba como "Infiltradora".

Para las observaciones se tomaban las plantas sanas pues pruebas preliminares dieron como resultado que la infiltración de las soluciones, sobre hojas atacadas de hongos o de insectos, se intensificaba en forma bien marcada.

IV.— RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de agua en los puntos críticos del suelo como resultado de los análisis efectuados, fue como sigue:

| | |
|---------------------------|--------|
| Punto de saturación total | 52,08% |
| Capacidad de campo | 36,15% |
| Equivalente de humedad | 29,83% |
| Punto de marchitamiento | 10,16% |
| Coefficiente higroscópico | 4,43% |

Los análisis mecánicos dieron como resultado una clase textural Franco-arcillosa tanto para el suelo empleado en el Invernadero como el utilizado en las plantaciones de campo.

A.—En el Invernadero:

Observaciones efectuadas desde las primeras horas de la mañana dieron como resultado, tal como lo anota Alvim (1) que los estomas inician su movimiento de apertura alrededor de las 6 a.m.

Esta hora osciló un poco según que las observaciones se efectuarán en días claros, con humedad relativa moderada, o en días cubiertos con humedades relativas altas. En el segundo caso se inició hasta 10 minutos después y mostró ser más gradual que en el primero.

La iniciación de la apertura de los estomas fue igual en todas las plantas lo que hace suponer que cualquiera de los niveles de agua aprovechable, empleados en el trabajo, es suficiente para sa-

Con la salida del sol, la infiltración de las soluciones en las hojas de las plantas aumentó bruscamente como resultado de un gran incremento en la apertura de los estomas.

Este incremento en la apertura de estomas mostró ser mayor en días claros que en días cubiertos.

Las pruebas de infiltración efectuadas en días claros dieron como resultado que la diferenciación en la apertura de los estomas, entre los distintos niveles de agua aprovechable, se inicia alrededor de las 8 a.m. en tanto que en días completamente cubiertos sólo se inicia a las 8½ a 9 a.m.

La humedad relativa mostró su mayor influencia sobre la apertura de los estomas durante las horas de la mañana.

La mayor parte de las observaciones llevadas a cabo en el invernadero aparecen resumidas en la Tabla I. Como se puede apreciar, la infiltración de las soluciones del método varió, en la planta, con el nivel de agua aprovechable presente en el suelo.

A medida que aumentó el contenido de agua aprovechable en el suelo, se obtuvo mayor infiltración de las soluciones como resultado de una mayor apertura de los estomas.

Dentro de cada nivel de agua aprovechable se aprecian ciertas diferencias de infiltración, correspondientes a diferencias en aperturas de estomas, debidas a la influencia de los factores: Humedad relativa, temperatura, hora de observación y estado del cielo (nubosidad).

No fue posible relacionar la apertura de los estomas con la cantidad de agua presente en el suelo en una forma exacta sin tener en cuenta, por lo menos, los factores antes anunciados.

Bajo un mismo nivel de agua aprovechable hubo variaciones en la infiltración de las soluciones y éstas fueron características para cada uno de los niveles empleados en el presente trabajo.

Al nivel del 20% de agua aprovechable presente en el suelo correspondió un rango de variación en la infiltración de las soluciones que fue, más comunmente, desde la solución No. 3 hasta al No. 5.

Al suponer, de acuerdo con Alvim (1), que con una infiltración de la solución No. 3 (20% nujol, 80% xylol) corresponde a un 30% de apertura de estomas y a la solución No. 5 (40% nujol, 60% xylol) a un 50% de apertura, se observa que el porcentaje de apertura de estomas correspondiente a las plantas en este nivel de agua, varió, más comunmente, desde el 30 hasta el 50%.

Si de igual modo se analizan los resultados para los demás niveles de agua aprovechable, se obtiene el rango más común de apertura de estomas dentro de cada nivel de agua.

— T A B L A I —

Resultados obtenidos en Invernadero

| H.R. | T°C. | Hora | Edad | Días | Nubosidad | No. de la solución infiltradora y niveles de agua aprovechable | | | | |
|------|------|----------|------|-----------|-----------|--|-------|------|-------|------|
| | | | | | | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| 50 | 31 | 11 a.m. | 22 | Nublado | 5 | 5 | 6 | 6 | 6-7 | |
| 35 | 34 | 10 a.m. | 25 | Despejado | 4-5 | 7 | 8 | 8-9 | 8-9 | |
| 40 | 35 | 12½ | 27 | Despejado | 3-4 | 5 | 6 | 6 | 8 | |
| 32 | 36 | 3½ p.m. | 28 | Despejado | 4 | 5-6 | 9-10 | 9-10 | 9-10 | |
| 57 | 29 | 9 a.m. | 29 | Cubierto | 4 | 6 | 6-7 | 7 | 7 | |
| 40 | 34 | 1½ p.m. | 29 | Cubierto | 3-4 | 7 | 8 | 9 | 9 | |
| 62 | 25 | 9½ a.m. | 37 | Cubierto | 5 | 5 | 5 | 5-6 | 5-6 | |
| 43 | 33 | 12½ | 37 | Cubierto | 5-6 | 7 | 8-9 | 9 | 9 | |
| 37 | 34 | 12½ | 38 | Despejado | 9(*) | 10(*) | 10-11 | 11 | (*)11 | |
| 40 | 33 | 4 p.m. | 38 | Despejado | 7 | 8 | 8 | 8-9 | 9 | |
| 35 | 35 | 12 m. | 39 | Despejado | 9-10 | 10-11 | 11 | 11 | 11 | |
| 42 | 32 | 11½ a.m. | 43 | Nublado | 8 | 8-9 | 8-9 | 9 | 9 | |
| 65 | 27 | 10½ | 47 | Cubierto | 6-7 | 7-8 | 8 | 8 | 8 | |
| 55 | 29 | 11 a.m. | 53 | Cubierto | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | |
| 42 | 32 | 3¼ | 57 | Nublado | 5-6 | 7 | 7-8 | 8 | 8 | |
| 42 | 32 | 11 a.m. | 75 | Nublado | 5 | 5-6 | 7 | 8 | 8 | |
| 65 | 27 | 9 a.m. | 76 | Cubierto | 4 | 4-5 | 5 | 6 | 6 | |
| 80 | 24 | 3 p.m. | 76 | Cubierto | 3 | 3-4 | 4-5 | 5 | 5 | |

(*) Observaciones efectuadas un día después de una aplicación de Parathion.

(H.R.) Humedad relativa en las horas de observación.

(T°C.) Temperatura en grados centígrados.

Para el 40% de agua aprovechable se obtuvo un rango más común de apertura de estomas que varió desde el 50 hasta el 70%; para el 60% de agua aprovechable entre el 50 y el 80% de apertura; para el 80% de agua aprovechable entre el 60 y 90% y para el 100% de agua aprovechable entre el 60 y 90% pudiendo llegar hasta el 100% de apertura de estomas.

Los rangos más comunes de apertura de estomas correspondiente al 20%, 60 y 100% de agua aprovechable se pueden apreciar en la Figura 1.

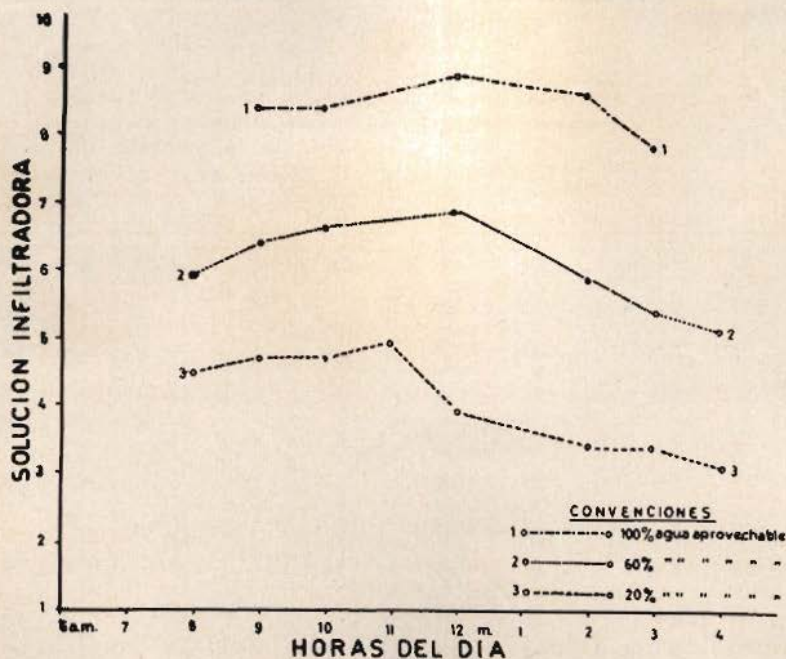


Figura 1.— Variaciones más comunes de apertura de estomas de las plantas correspondientes al 20, 60 y 100% de agua aprovechable en el suelo.

Como resultado de los distintos tratamientos de agua aprovechable empleados en el presente trabajo y sus consecuentes mayores o menores aperturas estomatales, se obtuvieron los datos que aparecen resumidos en la Tabla II.

Cabe anotar que los rangos de apertura de los estomas dados anteriormente con los resultados correspondientes a las observaciones efectuadas en el período de tiempo comprendido desde las 9 a.m. hasta las 3 p.m.

Las observaciones efectuadas desde las primeras horas de la mañana hasta después del lapso antes indicado dieron como resultado mayores variaciones, en cuanto a apertura de estomas se refiere, dentro de cada nivel de agua empleado. En las primeras horas de la mañana se obtuvieron, para cualquiera de los niveles de agua aprovechables empleados, aperturas de estomas bajas puestas éstas se encontraban en vía de aumento acelerado.

Después del contenido de agua en el suelo, la intensidad lumínica fue el factor que mostró tener una mayor y más amplia influencia sobre los movimientos estomáticos.

En días cubiertos, aún en los altos contenidos de agua aprovechable en el suelo, los estomas no alcanzaron la máxima apertura obtenida en días despejados.

— T A B L A II —

Resultados obtenidos en los distintos tratamientos de agua aprovechable en el Invernadero

| Tratamiento Agua aprovechable | Peso del tejido en gramos | | Porcentaje Material en seco |
|----------------------------------|---------------------------|-------------|--------------------------------|
| | Verde | (*) Seco | |
| 20 % | 175 | 48,75 | 28 |
| 40 % | 265 | 77,5 | 28,82 |
| 60 % | 310 | 105,0 | 33,92 |
| 80 % | 378,75 | 121,25 | 33,97 |
| 100 % | 426,25 | 165 | 38,33 |

(*) Promedio de cuatro repeticiones.

En la Figura 2 se muestra la curva de apertura de estomas correspondientes al 100% de agua aprovechable en un día despejado y en uno cubierto en sus dos extremos.

Generalmente durante las horas de la tarde de días despejados se observó una disminución en la apertura de los estomas la que se manifestó, por la infiltración de las soluciones, en una forma menos marcada en las plantas de los altos niveles de agua aprovechable.

Gessner, citado por Rabinowitch (11), la explica como resultado de una inhibición por exceso de luz.

Alvim (4) y Meyer and Anderson (9), la explican como el resultado del exceso de la transpiración sobre la absorción.

Las dos explicaciones guardan una estrecha relación pues al haber un exceso de luz la transpiración se intensifica y excede a la absorción.

Siempre que se obtuvo una infiltración de las soluciones Nos. 3 y 4 de las plantas correspondientes al 20% de agua aprovechable presente en el suelo, se observaron síntomas marcados de marchitamiento. Este comenzaba a manifestarse desde las primeras horas de la tarde y aún al medio día en días despejados.

Este hecho demuestra claramente que durante las horas de la tarde la teranspiración excede en más a la absorción que durante las horas de la mañana.

En días cubiertos, en cambio, se observó un aumento en la apertura de estomas con relación a su correspondiente de las horas de la mañana.

La disminución de la apertura de los estomas durante las horas de la tarde solamente alcanzó a dar manifestaciones de marchitamiento (temporal) en las plantas correspondientes al 20% de agua a-

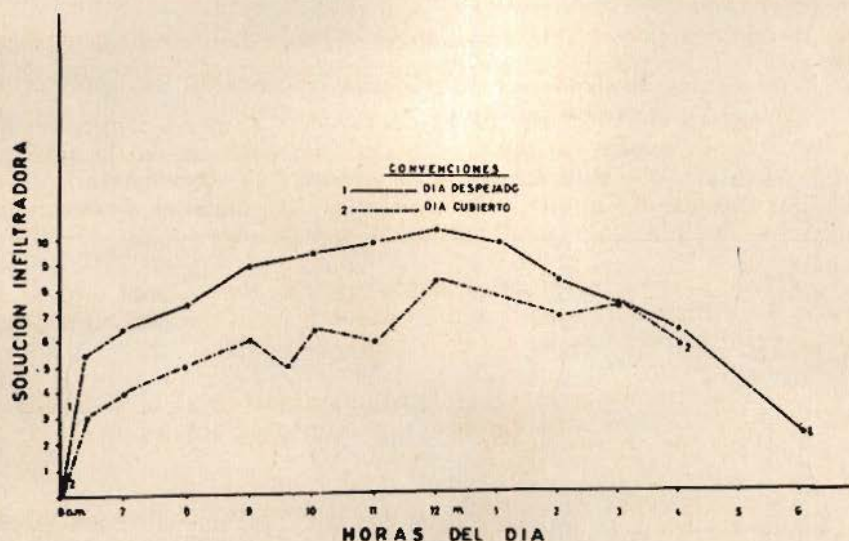


Figura 2.— Apertura de estomas en plantas correspondientes al 100% de agua aprovechable. Observaciones de un día claro y uno cubierto.

provechable pero la disminución en la infiltración de las soluciones correspondiente a los demás niveles, refleja la existencia de un marchitamiento incipiente.

El resultado de las observaciones anteriores indica, que el contenido de agua en las hojas de las plantas correspondientes a los niveles superiores de agua aprovechable, decrece, en las horas de la tarde de días claros, en una forma menos marcada que el correspondiente a las plantas de los niveles inferiores.

Las pruebas de infiltración que se efectuaron sobre plantas de una misma edad pero de diferente tamaño, dieron los mismos resultados.

En relación al volumen de agua agregado diariamente a las materias con el fin de mantener constante el contenido de agua en el suelo, se observó, en general, una mayor cantidad de agua perdida en los niveles superiores de agua aprovechable.

Aunque las pérdidas de agua en este caso no solamente son debidas a la transpiración sino que también comprenden pérdidas por evaporación, lo anotado anteriormente hace suponer que en las plantas, correspondientes a los niveles superiores de agua aprovechable en el suelo, se procesa una mayor transpiración que la correspondiente a las plantas en los contenidos bajos de agua aprovechable.

Las anotaciones anteriores junto con los resultados obtenidos de acuerdo a los varios tratamientos, dados en forma resumida en la Tabla II, hacen aseverar al autor que a medida que baja el conteni-

do de agua aprovechable en el suelo, se ve dificultando la absorción de ella por las plantas a la vez que la transpiración disminuye.

Meyers and Anderson (9), en referencia al movimiento del agua dentro de la planta, sostienen que éste no requiere de la transpiración para efectuarse pero que bajo condiciones de alta transpiración el movimiento del agua en el interior de la planta es, generalmente, más rápido que bajo condiciones de baja transpiración.

Observaciones efectuadas desde un día después de haber aplicado Parathion a las plantas dieron como resultado un aumento notorio de la infiltración de las soluciones.

Una aplicación tuvo lugar aproximadamente al mes de edad de las plantas y como para verificar los aumentos obtenidos en la infiltración de las soluciones.

Una aplicación tuvo lugar aproximadamente al mes de edad de las plantas y como para verificar los aumentos obtenidos en la infiltración de las soluciones, se efectuó otra aplicación de insecticida a los 38 días de edad de las plantas obteniéndose los mismos resultados.

El efecto de insecticida sobre la infiltración de las soluciones o sobre la apertura de los estomas fue volviéndose cada vez menor hasta los 5 a 7 días donde al parecer cesó su influencia.

Los efectos observados anteriormente fueron más intensos en las plantas correspondiente a los niveles más bajos de agua aprovechable.

El autor se permite sugerir nuevas investigaciones al respecto con el fin de determinar, en forma más precisa, el efecto que puedan tener los distintos insecticidas o fungicidas bien sea sobre la infiltración de las soluciones o bien en la apertura de los estomas.

B.—En el campo:

Algunos de los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración que se efectuaron en el campo aparecen resumidos en la Tabla III.

En general, el porcentaje de agua presente en el suelo durante el período de observaciones —en base del peso— en seco y en muestras de suelo tomadas a 30 cms. de profundidad— varió desde un 14,6 hasta un 28,9%; margen suficientemente amplio para distinguir desde suelo con "falta de agua", reflejada por síntomas característicos de marchitamiento de las plantas, hasta suelo con muy buen contenido de ella evidenciado por su misma apariencia general.

La infiltración de las soluciones en las hojas de las plantas, dentro de esta amplitud de contenidos de agua en el suelo, varió, en general, desde la solución No. 3 hasta la No. 10 e inclusive hasta la No. 11.

— T A B L A III —

Observaciones parciales de Campo

| H.R. | T°C | Hora | | Edad Plantación (Semanas) | Contenido de agua en el suelo % (*) | Solución Infiltr. No. | Nubosidad |
|------|-----|------|------|---------------------------------|--|-----------------------------|-----------|
| 40 | 37 | 11 | a.m. | 7 | 14,6 | 6-7 | Despejado |
| 30 | 36 | 1 | p.m. | 7 | 14,6 | 3-4 | Despejado |
| 60 | 28 | 10½ | a.m. | 8 | 17,4 | 6-7 | Cubierto |
| 40 | 33 | 1 | p.m. | 8 | 17,4 | 5 | Nublado |
| 43 | 35 | 2 | p.m. | 8 | 16,2 | 5 | Nublado |
| 48 | 30 | 10½ | a.m. | 8 | 28,4 | 9-10 | Nublado |
| 43 | 30 | 3 | p.m. | 8 | 28,4 | 8 | Nublado |
| 36 | 35 | 12½ | | 10 | 15,1 | 3-4 | Despejado |
| 31 | 31 | 4 | p.m. | 10 | 15,1 | 4 | Nublado |
| 35 | 37 | 12½ | | 10 | 17,8 | 6 | Despejado |
| 40 | 34 | 3½ | | 10 | 17,8 | 4 | Nublado |
| 47 | 31 | 11½ | a.m. | 11 | 18,3 | 8-9 | Despejado |
| 42 | 33 | 3 | p.m. | 11 | 18,3 | 8 | Despejado |
| 65 | 24 | 10½ | a.m. | 12 | 24,2 | 7 | Cubierto |
| 50 | 27 | 1 | p.m. | 12 | 24,2 | 8-9 | Cubierto |
| 43 | 30 | 11½ | | 12 | 28,9 | 10-11 | Nublado |
| 46 | 30 | 3 | p.m. | 12 | 28,9 | 8 | Nublado |

(*) Promedio de tres determinaciones de muestras tomadas a 30 cms. de profundidad.

(H.R.) Humedad Relativa.

(T°C) Temperatura grados centígrados.

Las pruebas de infiltración que se efectuaron en las plantas de suelo cuyo contenido de agua correspondió a 14,6% (17,1% de agua aprovechable), dieron como resultado una máxima infiltración, durante las horas de la mañana, de la solución No. 6 y, en algunos casos, de la No. 7.

Durante las horas de la tarde esta infiltración bajó más comúnmente, hasta la solución No. 4. Esta disminución en la apertura de los estomas, reflejada en la menor infiltración de las soluciones, casi siempre se hizo más notoria en las primeras dos horas de la tarde cuando infiltraron, generalmente, las soluciones Nos. 3 y 4.

Durante el período de observaciones correspondiente a este contenido de agua en el suelo, las plantas mostraban síntomas característicos de marchitamiento y el suelo evidentemente se mostraba muy seco.

En días completamente despejados, con temperaturas cercanas o superiores a los 35 grados C., se observó que la infiltración de las soluciones se tornaba más difícil como resultado de la disminución en la apertura de los estomas debida al marchitamiento que se hacía más severo.

Las observaciones anteriores muestran claramente que los contenidos de agua en este suelo por debajo de un 15% (18% agua aprovechable) no son suficientes para que las plantas puedan efectuar la absorción con suficiente eficiencia para reponer las pérdidas por transpiración lo que se traduce en un marchitamiento acompañado con bajas aperturas de estomas.

Cabe anotar aquí que el marchitamiento observado durante el período de observaciones correspondiente a este bajo contenido de agua en el suelo, fue temporal pues las plantas se recuperaban durante las horas de la noche. Este marchitamiento, sin embargo, se mostró suficientemente severo como para poder diagnosticar, a simple vista, una evidente "falta de agua" en el suelo para el normal desarrollo de las plantas.

A contenidos de agua en el suelo cercanos al 18% (aproximadamente 30% de agua aprovechable) correspondió una infiltración más frecuente, durante las horas de la mañana, de la solución No. 8 y durante las horas de la tarde de la solución No. 6.

Aparentemente la diferencia entre el 18% y 14,6% de contenido de agua en el suelo es poco notoria pero en términos de agua aprovechable se traduce a 30% y 17% respectivamente.

Aunque a medida que fue subiendo el contenido de agua en el suelo desde el 14,6 hasta el 18%, la infiltración de las soluciones se fue volviendo cada vez más fácil y los síntomas de marchitamiento menos severos.

Los síntomas de marchitamiento observados cuando las plantas se encontraban en un suelo con un contenido de agua inferior al 15% pasaron al campo de lo normal una vez que el contenido de agua llegó al 18%.

Sin embargo, no sería aconsejable dejar bajar en tanto el contenido de agua en el suelo pues, en contenidos superiores, el déficit de agua dentro de la planta no es tan intenso como para inducir síntomas visibles de marchitamiento.

A niveles ligeramente superiores al 20% (alrededor de 40% de agua aprovechable) se observó, en general, una apertura de estomas correspondiente a la solución No. 9 durante las horas de la mañana

y en las horas de la tarde una disminución de ésta que correspondió, cuando menos, a la infiltración de la solución No. 7.

Con base tanto en la apariencia general de las plantaciones como en las observaciones de infiltración efectuadas a niveles inferiores y superiores al 20% de contenido de agua en el suelo, el autor considera a este nivel como el mínimo permisible para un buen desarrollo de las plantas.

Observaciones correspondientes a un contenido de agua en el suelo, de 24,2% (54% agua aprovechable) efectuadas un día después de haber aplicado riego corrido, dieron como resultado una infiltración común de la solución No. 10 y aún de la No. 11 en días despejados en tanto que en días cubiertos (nublados) esta infiltración correspondió, como se puede apreciar en la Tabla III, a las soluciones Nos. 7 y 8.

Tal como aparece en la Tabla III, la infiltración de la solución No. 10 y aún de la No. 11 fueron de común ocurrencia cuando el contenido de agua en el suelo correspondió a 28,9%, (72% de agua aprovechable). La infiltración de la solución No. 11 (Nujol puro) mostró ser más frecuente a medida que la intensidad lumínica aumentaba y el contenido de agua se acercaba al 100%.

Según concepto del autor, las observaciones correspondientes a estos altos contenidos de agua en el suelo, desde un punto de vista práctico, no son necesarias pues la misma apariencia general del suelo evidencia su alto contenido de agua.

Por las anteriores anotaciones se puede apreciar que es difícil determinar, en una forma precisa, soluciones indicadoras de los distintos niveles de agua aprovechable presente en el suelo.

La dificultad en la determinación de dichas soluciones radica en la gran variación de condiciones que se pueden registrar aún en un mismo día.

En los días cubiertos, en general, la variación de los factores humedad relativa, temperatura y luminosidad son más intensas y frecuentes debido a lo cual los cambios, en cuanto a las aperturas de los estomas se refiere, son muchos más marcados que los correspondientes a días despejados.

En días uniformemente despejados donde la oscilación de los factores antes enunciados es relativamente menor, puede ser posible determinar, aunque sea en rango amplio, contenidos de agua aprovechable, presente en el suelo, por medio de la infiltración de las soluciones.

Por cuanto la intensidad lumínica fue el factor que mostró tener una mayor influencia sobre la apertura y cierre de los estomas, el empleo de un fotómetro obviaría, en parte, tales dificultades. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, esta medida no sería recomendable.

Con el método seguido en el presente trabajo para apreciar la intensidad lumínica, en una forma general y desde el punto de vista práctico, fue posible diferenciar entre plantas con buen suministro de agua en el suelo y plantas con mal suministro de ella o lo que es lo mismo, se pudo determinar la necesidad de riego en las plantaciones.

Así, la infiltración de las soluciones Nos. 4, 5 y 6 durante las horas de la tarde de días despejados indican una falta de agua en el suelo. Esta falta de agua se evidencia a simple vista cuando la infiltración de las soluciones Nos. 3 y 4 se procesa.

Durante las horas de la mañana, la infiltración de las soluciones Nos. 6, 7 y 8 igualmente están indicando una deficiencia de agua en el suelo en mayor o menor grado.

Para la determinación de una necesidad de riego con anterioridad a la manifestación de síntomas de marchitamiento, se recomienda tal como lo aconseja Alvim (1), a la solución No. 9 como indicadora.

Durante las horas de la tarde, sin embargo, se puede admitir una disminución en la apertura de los estomas correspondiente, cuando menos, a la infiltración de la solución No. 7.

Las recomendaciones dadas anteriormente se basaron en los varios resultados obtenidos de las observaciones efectuadas en días despejados o en aquellos otros cuya nubosidad no es lo suficientemente densa para interceptar la intensidad lumínica.

Aunque en días cubiertos algunas veces se obtuvieron los mismos resultados, no es aconsejable efectuar las observaciones durante ellos pues, en general, los resultados son muy variables.

V.— CONCLUSIONES

A.—Por el método de infiltración perfeccionado por Alvim y Havis, es posible diferenciar, con ciertas limitaciones en nuestro medio, plantas con suministros eficientes y deficientes de agua aprovechable en el suelo.

1.— En nuestras condiciones, los días cubiertos hacen que los resultados obtenidos sean muy variables debido a lo cual no se ajustan a las recomendaciones dadas por Alvim (1).

2.— En días cuya nubosidad no es lo suficientemente densa como para interceptar el paso de la luz solar, en cambio, las recomendaciones dadas por Alvim (1) se pueden seguir y el método resulta práctico.

3.— En el caso específico del maíz, siempre que las observaciones se efectúen en días despejados como lo anotado en el punto anterior, se puede determinar la necesidad de riego con anterioridad al marchitamiento, de acuerdo a lo anotado por Alvim (1).

B.— Cuando el contenido de agua en el suelo comienza a ser deficiente, las plantas de maíz disminuyen la apertura de los estomas y esta disminución se aprecia mejor durante las horas de la tarde.

1.— Cuando el contenido de agua en el suelo bajo estudio es claramente deficiente (a niveles inferiores al 20% de agua aprovechable), el efecto de la intensidad lumínica se traduce en una marcada disminución en la apertura de los estomas.

2.— La absorción de agua se disminuye en los niveles más bajos de agua aprovechable presente en el suelo empleado.

C.— En condiciones de invernadero se obtienen, generalmente, menores aperturas de los estomas que las correspondientes a las del campo.

D.— No es posible relacionar el contenido de agua en el suelo con la apertura de los estomas sin tener en cuenta los factores: Humedad relativa, temperatura y luminosidad.

E.— La apertura de los estomas en general es un tanto variable debido a lo cual las pruebas de infiltración deben ser en número suficiente para poderlas valorar.

VI.— RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo fundamental estudiar la relación entre el contenido de agua en el suelo y la apertura de los estomas por medio de las soluciones infiltradoras del método de Alvim y Havis con el fin de determinar las soluciones mejor indicadoras de una deficiencia de agua en el suelo con anterioridad al marchitamiento de las plantas en las condiciones ambientales del experimento y estudiar el comportamiento de aquellas que reflejen contenidos suficientes de agua aprovechable en el suelo.

El trabajo se dividió en pruebas de Invernadero y en pruebas de campo y se empleó el maíz como planta indicadora.

Las pruebas de campo se efectuaron en plantaciones establecidas en terrenos de la Facultad de Agronomía localizadas en el mismo suelo empleado en el Invernadero.

En el Invernadero se emplearon los siguientes niveles de agua aprovechable: 20%, 40%, 60%, 80% 100%.

La infiltración de las soluciones en las plantas de invernadero tuvo rangos característicos de variación para cada nivel de agua aprovechable.

Dentro de los rangos anteriormente citados se observó una notoria variación de la infiltración de las soluciones debida al efecto del Parathion que duró de 5 a 7 días. Esta variación correspondió a un aumento de infiltración de las soluciones.

La intensidad lumínica mostró ser, después del contenido de agua en el suelo, el factor más influyente en la apertura y cierre de los estomas.

Cuando el contenido de agua en el suelo bajo estudio fue claramente deficiente (inferior al 20% de agua aprovechable), la intensidad lumínica inhibió la apertura de los estomas.

El contenido de agua en el suelo, correspondiente a las observaciones efectuadas en el campo, varió desde un 14,6% (17,1% de agua aprovechable) hasta un 28,9% (72% de agua aprovechable). Al punto de marchitamiento y el Equivalente de Humedad del suelo, en base del peso en seco, correspondió 10,16% y 29,83% respectivamente.

La infiltración de las soluciones, dentro de esta amplitud de contenidos de agua en el suelo, fue desde la solución No. 3 hasta la No. 11.

Los resultados obtenidos indicaron que tanto el método como las recomendaciones de Alvim y Havis se pueden seguir en las condiciones del Valle del Cauca en días cuya nubosidad no sea lo suficientemente densa para interceptar el paso de la luz.

En días cubiertos, por cuanto se observan muchas diferencias en la infiltración de las soluciones, los resultados pueden ser errados.

En el caso específico del maíz se recomienda a la solución No. 9 (80% nujol, 20% xylol) como indicadora de una necesidad de riego. Durante las horas de la tarde sin embargo, la infiltración puede bajar, cuando más, a la solución No. 7 (60% nujol, 40% xylol).

SUMMARY

The objective of the present work was to study the relationship between the soil water supply and the stomatal opening by means of the infiltration solutions of Alvim and Havis with the aim to determine the best indicating solution of soil water deficiency with priority to the wilting of the plants under weathering conditions of the experiment and to study the behavior of those which reflect sufficient contents of available water in the soil.

This study was carried out under both, greenhouse and field conditions and corn was employed as the indicative plant.

The field test were made in stablished plantations in grounds of the Facultad de Agronomía de Palmira, located in the same soil employed in the greenhouse.

The following levels of available water were employed in the greenhouse: 20%, 40%, 60%, 80% and 100%.

The infiltration of solutions in the greenhouse plants showed

characteristical ranges of variation for each level of available water.

The application of Parathion as an insecticide in the plants affected the results.

The sun light intensity showed to be, after the water content in the soil, the most influential factor in the stomatal opening and closing.

When the content of water in the soil, under this study, was clearly deficient (below 20% of the available water), the sun light intensity inhibited the stomatal opening.

The content of water in the soil, varied from 14,6% (17,1% available water) up to 28,9% (72% available water).

The wilting point in the soil was reached at 10,16% of moisture and the moisture equivalent at 29,83%.

The infiltration of solutions, within the range of moisture content in the soil was from solution No. 3 to No. 11.

The results obtained indicated that both, the methods and recommendations of Alvim and Havis, can be followed under the Cauca Valley conditions in days when cloudiness is not too high.

In cloudy days, the results may be different and many differences are observed then in the infiltration of the solutions.

In the specific case of corn, the solution No. 9 is recommended, (80% nujol, 20% xylol) as indicators of the need of irrigation.

During the hours of the afternoon, however, the infiltration may decrease to the solution No. 7 (60% nujol 40% xylol).

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ALVIM, P. DE T.— La posibilidad de reconocer la necesidad de riego en maíz, algodón y caña de azúcar por medición de la apertura de los estomas. *Rev. Agronomía*. Lima, Perú. Escuela Nacional de Agricultura. 23 (87-88: 7-17. 1956.
2. ————— and J. R. HAVIS.— An Improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. *Plant Physiology*. 29 (1): 97-98. 1954.
3. —————.— Stomatal opening as practical indicator of moisture deficiency in cacao. Séptima Conferencia Interamericana de Cacao. Palmira, Colombia, 15 p. 1953 (mimeografiado).
4. —————.— Economía de agua de las plantas. Curso Internacional de riegos y avenamientos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Zona Andina. Lima, Perú, 1957.

5. BAVER, L. D.— Soil physics. 3d. ed. New York. John Wiley & Sons, Inci pp. 224-298. 1956.
6. BLAIR, F. E.— Manual de riegos y avenamientos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. O.E.A. Zona Andina. Lima, Perú. pp. 3-10. 1957.
7. LYON, T. L., H. O. BUCKMAN and N. C. BRADY.— The nature and properties of soil. 5th. ed. New York. The Macmillan Company. pp. 182-217. 1952.
8. MAXIMOV, N. A.— Plant physiology. 2d. ed. New York. Mc Graw Hill Book Co. Inc. pp. 278-314. 1948.
9. MEYERS, B. S. and D. B. ANDERSON.— Plant physiology. 2d. ed. New York. D. Van Nostrand Co. Inc. pp. 123-267. 1952.
10. PIPER, C. S.— Soil and plant analysis. Interscience Publishers Inc. N. Y. pp. 91-92. 1950.
11. RABINOWITCH, E. I.— Photosynthesis and related processes. Interscience Publishers. Inc. N. Y. 2 (1): 873-916. 1951.
12. RAWITSCHER, F.— Algumas nocões sobre a transpiracao e o balanço d'água de plantas brasileiras. Anais de Academia Brasileira de Ciencias. 14 (1): 7-36. 1942.
13. THOMAS M., M. A.— Plant physiology. 2d. ed. London. J. & A Churchill Ltd. pp. 119-198. 1940.