

Universidad Nacional Agraria
Facultad de Ingeniería Agrícola



Evaluación de Criterios para la Selección de
Plantas de Papa por Resistencia a la Sequía

Tesis Para Optar el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA

Juan Luis Camero De La Torre Ugarte

LA MOLINA

1989

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

EVALUACION DE CRITERIOS PARA LA SELECCION DE PLANTAS DE
PAPA POR RESISTENCIA A LA SEQUIA

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGRICOLA

Nombre:

JUAN LUIS CAMERE DE LA TORRE UGARTE

Integran el Jurado de la presente tesis:

.....
Ing. Lorenzo Chang-Navarro
PRESIDENTE

.....
Ing. Nicolás Echevarría
PATROCINADOR

.....
Ing. Absalón Vásquez
MIEMBRO

.....
Ing. Rolando Egúsquiza
MIEMBRO

La Molina, 18 de Agosto de 1986.

A
DON EDISTIO
Y
DOÑA AMALIA

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia escrita de mi mayor agradecimiento al Dr. TJAART K. GLAS, bajo cuya dirección trabajé en el Centro Internacional de la Papa. El Dr. Glas con su apoyo y colaboración hizo posible que yo pudiera realizar un buen trabajo en una de las Instituciones más serias que haya conocido.

Chiclayo, Junio de 1986

JUAN LUIS CAMERE

INDICE

Pág.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1

CAPITULO II

RESUMEN

5

CAPITULO III

REVISION DE LITERATURA

10

3.1. Introducción

10

3.2. Efectos de la Sequía sobre el desarrollo de las plantas

11

3.3. Resistencia, Tolerancia y Evitamiento de la Sequía

13

3.4. Respuestas de adaptación de la papa a la sequía

14

3.5. Criterios y dificultades para seleccionar variedades

resistentes

15

3.6. Transpiración de las plantas como criterio de selección

17

3.7. Determinación de la transpiración

18

3.8. Comportamiento de la transpiración bajo tensión de humedad

19

3.9. Función de las hojas en la transpiración de los cultivos

20

3.10. Influencia de la compactación del suelo en la planta

21

3.11. Supervivencia a repetidos períodos de sequía

24

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

26

4.1. Experimentos de Transpiración

26

4.1.1. Diseños Preliminares

26

4.1.1.1. Materiales

27

INDICE

	Pág.
4.1.1.2. Siembra	27
4.1.1.3. Tratamientos de riego	28
4.1.1.4. Métodos	29
4.1.2. Diseño Modificado	29
4.1.2.1. Materiales	30
4.1.2.2. Métodos	30
4.1.2.3. Diseños Estadísticos	31
4.2. Experimentos de Compactación	32
4.2.1. Diseño Preliminar	32
4.2.1.1. Materiales	33
4.2.1.2. Siembra	33
4.2.1.3. Métodos y Diseños Estadísticos	34
4.2.2. Diseño Modificado	35
4.2.2.1. Materiales	35
4.2.2.2. Métodos	36
4.3. Experimentos basados en la Supervivencia de Plantas	36
4.3.1. Diseño Preliminar	36
4.3.1.1. Materiales	36
4.3.1.2. Métodos	38
4.3.2. Diseño Modificado	38
4.3.2.1. Materiales	38
4.3.2.2. Métodos	39
4.3.2.3. Nuevos Análisis Estadísticos	39

INDICE

Pág.

CAPITULO VRESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Experimentos de Transpiración	40
5.1.1. Resultados y Discusión referentes al Diseño Preliminar	40
5.1.1.1. Variaciones en los períodos de sequía	40
5.1.1.2. Diferencia en transpiración entre variedades	41
5.1.1.3. Diferencias en el período de recuperación	48
5.1.2. Resultados y Discusión referentes al Diseño Modificado	48
5.1.2.1. Diferencias de altura entre T_0 y T_2	48
5.1.2.2. Variaciones en Area Foliar	51
5.1.2.3. Diferencias significativas entre tratamientos	51
5.1.2.4. Diferencias en el primer período de recuperación	51
5.1.2.5. Significancia de dos variedades en el mismo tratamiento	52
5.1.2.6. Significancias en diferentes tratamientos	53
5.1.2.7. Segundo período de recuperación	55
5.2. Experimentos de Compactación	58
5.2.1. Resultados y Discusión referentes al Diseño Preliminar	58
5.2.1.1. Significancia en la densidad del suelo	59

INDICE

Pág.

5.2.1.2. Alta variabilidad en el Diseño Prelimi nar - Posibles causas	59
5.2.1.3. Interpretación de los nuevos resultados	60
5.2.2. Resultados y Discusión referentes al Diseño Modificado	61
5.2.2.1. Nueva Significancia estadística del factor densidad del suelo	62
5.2.2.2. Uso de la Prueba de Significancia de Student-Newman-Keul	66
5.3. Experimentos de Supervivencia de Plantas	68
5.3.1. Resultados y Discusión referentes al Diseño Preliminar	68
5.3.2. Resultados y Discusión referentes al Diseño Modificado	70
 <u>CAPITULO VI</u>	
<u>CONCLUSIONES</u>	72
6.1. Experimentos de Transpiración	72
6.1.1. Sobre los Diseños Preliminares	72
6.1.2. Sobre el Diseño Modificado	73
6.2. Experimentos de Compactación	74
6.2.1. Sobre el Diseño Preliminar	74
6.2.2. Sobre el Diseño Modificado	74
6.3. Sobre los Experimentos de Supervivencia de Plantas	75

INDICE

Pág.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

76

CAPITULO VIII

LITERATURA CITADA

78

CAPITULO I
INTRODUCCION

La sequía o falta de humedad es, en muchas ocasiones, un serio obstáculo en la producción de cultivos comerciales, más cuando extensas zonas de siembra, dependen del ciclo de lluvia para iniciar el riego. Este es el caso de la sierra peruana, donde existen muchas áreas de cultivos bajo régimen de secano. Las lluvias también afectan la recarga de los ríos que irrigan los valles de la Costa, algunos de ellos con ambientes de temperaturas altas y otros de clima tropical, muchos sin obras físicas para reservar el agua requerida por los cultivos, por lo que muchas veces, estos sufren la falta de agua presentándose recortes muy significativos en los rendimientos y antes de la cosecha trastornos graves.

Como una forma de enfrentar este problema, se llevan a cabo estudios para desarrollar especies y variedades de cultivos que presenten características deseables de resistencia a la sequía. Plantas que soporten la sequedad del ambiente, altas temperaturas y falta de agua disponible en el suelo. Ante la falta de agua los cultivos desarrollan mecanismos de escape y/o tolerancia a la sequía que afectan su fisiología o a su morfología y que evitan las pérdidas de agua y, por ende, evitan disminuciones serias en sus rendimientos.

El problema de la sequía es bastante complejo y difícil de enfrentar, porque aunque se define, en muchos estudios, en términos de déficit de hu

medad del suelo o la diferencia entre el agua necesitada para satisfacer la demanda transpiracional y la cantidad de agua en el suelo disponible para la planta, los efectos de la sequía son influenciados por todos aquellos factores que intervienen, externa o internamente en el sistema SUELO PLANTA-ATMOSFERA. Las dificultades para establecer un Programa de selección de variedades con características deseables que confieran resistencia a sequía, se inician con que las características específicamente beneficiosas bajo condiciones de sequía no está debidamente identificadas, Begg y Turner (1976) y Levitt (1972).

En estas circunstancias es necesario, establecer en primer lugar diseños experimentales confiables, aspecto que se ha venido desarrollando con el uso de sofisticados instrumentos y cámaras de crecimiento con control ambiental, que permiten encontrar diferencias significativas en características de los cultivos que les hacen resistentes a la sequía.

OBJETIVOS DE LA PRESENTE INVESTIGACION

Paralelos a esta línea, los estudios que se realizaron sobre variedades de papa (*Solanum Tuberosum*) se orientaron hacia la consecución de los siguientes objetivos:

- 1) Desarrollo de métodos de selección que permitieran identificar características que pudieran servir como criterios de selección de resistencia a sequía.

2) Estos métodos debían cumplir con los requisitos de simplicidad, evitando el uso de procedimientos complejos, de bajo costo y de rapidez, esto es, que permitieran la evaluación del material en una fase temprana de su desarrollo.

3) Los métodos escogidos deberían permitir la identificación de genotipos con diferencias significativas en su reacción a la falta de agua. Este material sería usado posteriormente en un Programa de Desarrollo del cultivo de papa.

Sobre la base de estos objetivos, la experimentación se concentró en el estudio de la reacción a la tensión de humedad en plantas y esquejes de diferentes genotipos, todos ellos ubicados en invernaderos sin facilidades de control ambiental. Se incluyeron variedades comerciales como Yungay, Mariva, Tomasa T. Condemayta y Revolución entre otras, material del Proyecto de resistencia a la "Helada" que podían presentar ciertas tolerancias, otras especies que crecen bajo condiciones casi desérticas. Reacción expresada en términos de característica(s) que pueda(n) ser fácil y rápidamente medida(s) sin requerimientos de instrumental sofisticado.

Dos trabajos obvios, fueron la medición de la transpiración de la planta por el peso de macetas antes y después del riego. A pesar de sus limitaciones evidentes, este método gravimétrico resulta útil para comparar especies en las mismas condiciones y medir la reacción de las plantas a los tratamientos experimentales utilizados. Y la supervivencia de plantas expuestas a repetidos períodos de sequía con el desarrollo de una escala visual de performance de la planta ante el cada vez más severo stress

de humedad. Posteriormente se llevaron a cabo estudios sobre el desarrollo radicular a través de una capa de suelo previamente compactado. Comparado con otros cultivos, la papa tiene raíces relativamente superficiales y casi todas sus raíces están confinadas en la capa arada sin ninguna penetración por debajo de ella (Lesczyński y Tanner, 1976).

Se evaluaron entre los tres tipos de estudio, cerca de 40 variedades de papa. En un primer período se realizó el diseño preliminar de los experimentos que permitieron encontrar significancias entre las variedades estudiadas y un segundo período se resolvió en la modificación de los diseños con el intento de ganar en operatividad y disminuir errores, a la par de efectuar un estudio más profundo de las características evaluadas. También se realizaron dos experimentos de manejo de agua: Estudio de la textura del suelo sobre la humedad disponible y los efectos de esas posibles diferencias en el rendimiento y calidad del tubérculo y Estudio del efecto de la frecuencia del riego sobre el rendimiento y calidad de la cosecha en tres variedades de papa. Estos estudios no se consignan en el presente trabajo.

CAPITULO II

RESUMEN

1) Este estudio es parte de un proyecto de Tolerancia a Sequía. Investigación realizada dentro de un convenio entre el CIP, Centro Internacional de la Papa (La Molina, Lima) y la RSAF, Research Station for Arable Farming (Lelystad, Holanda) con la colaboración de la Universidad de Agricultura de Wageningen (Holanda).

2) La fase experimental de la investigación se llevó a cabo desde enero de 1978 a marzo de 1979, sin interrupción, ejecutándose los experimentos en un invernadero localizado en el CIP, careciendo de control ambiental (temperatura, humedad, radiación solar, etc.). Los experimentos se orientaron al diseño de métodos de selección de material resistente a la sequía, probar su eficacia y pasar a desarrollarlos. Se usaron como criterios de selección:

- a) La transpiración de las plantas. De enero a junio del 78 se realizaron cinco experimentos preliminares y de diciembre de 1978 a febrero de 1979 un experimento de diseño modificado.
- b) El comportamiento de las raíces ante una capa de suelo previamente compactado. De octubre a noviembre de 1978 un experimento preliminar y de enero a marzo de 1979 un experimento de diseño modificado.

- c) La supervivencia de plantas a través de repetidos períodos de sequía. Estos se llevaron a cabo de setiembre de 1979 a enero de 1979 un experimento preliminar, y de enero a marzo de 1979 un experimento de diseño modificado *.

En todos ellos se sembraron genotipos de papa (*Solanum Tuberosum*) que presentaban distintas reacciones ante la falta de agua y provenientes de varias fuentes: Variedades comerciales como Yungay, Mariva, T. Condemayta, etc., familias del Banco de germoplasma del CIP, también de otros proyectos y especies silvestres de zonas casi desérticas.

3) Los experimentos de transpiración consistían en pesar las plantas antes y después del riego, en los períodos de sequía, establecidos de acuerdo a tres tratamientos de riego, T_0 (100%) ó capacidad de campo, T_1 (50% de T_0) y T_2 (25% de T_0). Y en los períodos de recuperación, determinándose la tasa de transpiración en ml/día. El diseño preliminar mostró que la diferencia entre variedades era notable. Los resultados se reflejan en los gráficos que se presentan en este trabajo. Se pasó a modificar este diseño para hacerlo operativo, sin tener la necesidad de pesar muchas veces las plantas, sino una vez por período de recuperación.

4) En este segundo experimento se trabajó en base a un diseño estadístico de parcelas divididas; siendo las parcelas principales los tratamientos de riego y las subparcelas, las variedades estudiadas. Se dismi-

* Nota : Los diseños modificados presentan reformas en cuanto a disminución de errores experimentales e introducción de arreglos estadísticos, respecto a los diseños preliminares.

nuyeron las pesadas generales de todas las plantas a una por período, en el segundo período de recuperación se hicieron dos pesadas generales a fin de obtener mayor información. Se usó la Prueba de Significancia de Duncan y la Prueba de la Diferencia Límite de Significación (DLS), para estudiar las diferencias entre tratamientos y entre variedades. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Se presentaron significancias estadísticas entre las variedades en el mismo tratamiento. Aunque el comportamiento es similar en casi todas las variedades. Esto puede deberse a la falta de interacción de los tratamientos sobre las variedades. Los efectos de interacción no fueron significativos a ningún nivel en ninguno de los análisis efectuados. Estos hubieran aportado mayores informaciones.
- b) Se encontraron significancias entre los diferentes tratamientos, $T_0 - T_2$, ocho variedades de las catorce mostraron que la reducción de transpiración era significativa. Los análisis del segundo período de recuperación muestran significancias para doce y luego para ocho variedades. Mostraron significancia a través de todo el experimento las siguientes: 375540-1, 375089-31, 375057-39, 375080-42 y CUR-700279.

5) La capacidad de la planta para retornar al promedio de transpiración TR_0 en T_0 puede servir como indicador usado para la tolerancia y/o escape a la sequía. La ventaja del método reside en su facilidad, la desventaja del diseño preliminar es la cantidad de labor requerida para conseguir los resultados. El diseño modificado permitió un gran ahorro de

tiempo y de la labor e impidió daños en la planta que se presentaron en el experimento preliminar, además no se pierde información y permite un análisis rápido sobre un posible material resistente a sequía.

6) Los experimentos de compactación se realizaron con envases abiertos por el fondo para estudiar el número de raíces que atravesaron las capas previamente compactadas. Inicialmente se usaron envases de paredes flexibles y densidades de suelo de 1.2, 1.4 y 1.6 gr/cc en dos profundidades, 2.5 y 5.0 cm. Los resultados muestran que las capas compactadas afectan a las raíces reduciendo su número significativamente, también la profundidad inside significativamente, pero en este experimento el error experimental fue elevado.

7) Por esto, el diseño modificado buscó reducir esas variabilidades para dar mayor confiabilidad a los resultados. Para esto se usaron tubos PVC de paredes de 3 mm de espesor, densidades más drásticas (1.2, 1.5 y 1.8 gr/cc) y profundidades de capa compactada de 4 y 8 cm. Se presentan los Análisis de Variancia del 6 de marzo, 12 de marzo y 21 de marzo, estudiándose los efectos simples y se usó la prueba de Student-Newman-Keul para comparar los comportamientos de cada familia de papa en el mismo tratamiento. Las diferencias de la Prueba de SNK indican que los tratamientos (1.2 gr/cc y 4 cm) y (1.5 gr/cc y 8 cm) restringen el paso de raíces significativamente, entre las raíces estudiadas (Ver Tabla 4.12).

8) El grado de dificultad encontrado por las raíces para atravesar una capa compactada de suelo es un buen índice que puede usarse en la selección de material resistente a la sequía. Para los estudios hechos con el diseño modificado, parece posible establecer (1.5 gr/cc) como una den-

sidad adecuada para cribar material con posibles mecanismos de escape a la sequía en plantas de papa. De todas formas quedan por estudiar los errores debido a la alta variabilidad que arrojan los experimentos de compactación. Los Coeficientes de Variabilidad (CV) llegaron en un caso hasta cerca del 90%.

9) Los experimentos de supervivencia se realizaron en bandejas con distintas variedades dentro de ellas, a las que se sometió a períodos prolongados de sequía por la reducción total del agua hasta que las plantas exhibían síntomas de marchitez, amarillamiento de hojas, tallo caído, etc. Se contaban las plantas muertas al inicio de un período de recuperación. Los resultados de ambos diseños no arrojan diferencias significativas. No se pueden establecer conclusiones en base a los estudios presentados aquí. Este método es más usado para establecer diferencias en un amplio número de variedades, no debe ser usado para estudiar pocas variedades como es el caso de este trabajo.

10) Los resultados en el invernadero deben ser comprobados en el campo para usarlos confiablemente. En el invernadero se desarrollan sequías más severas, sin posibilidades de recuperación de la planta por la absorción de agua por la noche, cuando la transpiración es baja como sucede en el campo. El ambiente de la planta es tan modificado en el invernadero, que no siempre es posible lograr una adecuada correlación.

CAPITULO III
REVISION DE LITERATURA

3.1. INTRODUCCION

Dentro del estudio de la sequía es importante comprender que los efectos de la sequía sobre el desarrollo de los cultivos, son influidos por todos esos factores que juegan un papel dentro del sistema SUELO-PLANTA-ATMOSFERA. (Ritchie y Hinckley, 1975) distinguen tres factores principales:

- . Un factor de oferta o de suministro. Determinado por la humedad disponible del suelo, que depende de las lluvias, del riego, de las raíces profundas, densidad de raíces y las propiedades hidráulicas del suelo.
- . El factor de demanda o grado de transpiración potencial. Determinado por la intensidad de radiación, déficit de presión de vapor de agua, estado de desarrollo del cultivo y velocidad del viento.
- . Los mecanismos de control de la planta. Desprendimiento de hojas, aceleración de la madurez, decrecimiento del área foliar, cambios en la acción de los estomas, etc.

Los estudios para la identificación de variedades resistentes a la sequía son considerados en el contexto de esta interrelación entre los factores climatológicos, fisiológicos de la planta y físicos del suelo.

En muchos estudios (Begg y Turner, 1976; Kramer, 1974; Levitt, 1972; Wilson, 1978), es definida en términos de déficit de humedad del suelo o la diferencia entre la cantidad de agua necesitada, para satisfacer la de manda de transpiración y la cantidad de agua en el suelo disponible para la planta. El agua del suelo disponible es usualmente especificada en términos de contenido de humedad o potencial de humedad. Y se asume ca- rencia de agua en la planta o tensión de humedad, cuando el potencial de humedad excede cierto valor límite (Glas, 1977).

Sin embargo, cuando la transpiración es alta (alta intensidad de luz, baja humedad, viento), muchas especies exhiben síntomas de marchitamiento, aun en suelos húmedos, porque la capacidad de absorción del sistema de raíces es pequeño para satisfacer la demanda. En este caso el sistema ra dicular y no el potencial de humedad se convierte en factor limitante. Es ta situación ocurre durante el medio día (13 hr - 16 hr) y la planta puede recuperarse durante la noche. Cuando el potencial de humedad es tan alto que la planta no es capaz de absorber suficiente humedad durante pe- ríodos de baja demanda transpiracional, la planta empieza a mostrar sínto mas permanentes de marchitamiento y se presentan daños irreversibles.

3.2. EFFECTOS DE LA SEQUIA SOBRE EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS

(Haverkort, 1976) establece que la falta de agua en la papa se carac teriza por la disminución del contenido de agua, el potencial osmótico, y potencial total de agua, acompañado de pérdida de azúcares, cierre de es- tomas y disminución del crecimiento. Si es severo, resulta en una drásti ca reducción de la fotosíntesis y disturbios en otros procesos fisiológi-

cos. El cierre de las estomas afecta el grado de concentración de anhídrido carbónico (CO_2) en las hojas y éste afecta la transpiración. La tensión de humedad tiene efectos negativos, generalmente, sobre la cosecha y la calidad de los tubérculos.

La tensión de humedad afecta virtualmente todos los procesos bioquímicos y fisiológicos que tienen lugar en la planta. Hsiao, (1973), Denmead y Shaw, (1962) muestran que el crecimiento de las plantas está estrechamente relacionado con el período de tiempo en que pueden mantener sus hojas al máximo turgor y la transpiración al máximo potencial. Porque cuando el riego no es limitativo, la transpiración está estrechamente relacionada con las condiciones climatológicas. Ellos mismos establecieron que disminuye la producción de materia seca a altos grados de transpiración (6-7 mm por día) cuando el promedio de tensión de humedad era de aproximadamente 0.3 bars o capacidad de campo.

Fuehring (1966), encuentra que los rendimientos del maíz, papa y caña de azúcar disminuyen cuando el intervalo entre riegos sobrepasaba más de una semana. Incrementando la tensión de humedad, el maíz retrasa su madurez, como es mostrado por la alta humedad del grano a la cosecha. La papa tiende a disminuir el tamaño y la calidad de los tubérculos. Epstein y Grant (1973), sugieren que la papa exhibe daños de stress cuando la caída del potencial de agua del suelo disminuye por debajo de -0.25 bars.

3.3. RESISTENCIA, TOLERANCIA Y EVITAMIENTO DE LA SEQUIA

Levitt (1972), divide la resistencia a la sequía en dos componentes: Evitamiento de sequía (la habilidad para prevenir la reducción en el contenido de agua) y Tolerancia a sequía (habilidad para sobrevivir ante la reducción del contenido de agua). Muchos investigadores vienen trabajando según estos criterios. Begg y Turner (1976), establecen que, generalmente, es reconocido que existen plantas que son resistentes porque evitan el desarrollo de severos déficits o toleran severos déficits de agua.

Glas (1977), plantea que, aunque la papa tiene algunos mecanismos de tolerancia y evitamiento de una ligera tensión de humedad, la contribución de cada uno de esos mecanismos en la resistencia total, probablemente dependa de las características fisiológicas de la planta.

Levitt (1972) afirma en el mismo sentido que, aunque, los valores calculados de resistencia a sequía, se basan en determinaciones directas de tolerancia y evitamiento, esas no revelan los factores de los que depende cada una de ellas. Se han hecho experimentos para medir esos factores individuales, algunas veces por determinaciones de caracteres morfológicos y otras por estudio de procesos fisiológicos, de los cuales la transpiración es uno de los más estudiados, a tal punto que Larcher (1960) intentó estandarizar las condiciones a las que debían medirse la transpiración (22°C, 10,000 lux y 0.24 cm²/hr por evaporímetro Piché), igualmente determinó la prontitud y velocidad del cierre de estomas como factor de resistencia a sequía. Sin embargo, tales observaciones pueden estar relacionadas con adaptaciones a los efectos indirectos de sequía, e.j. la habilidad de mantener los estomas abiertos y continuar la asimilación en

ligeros desbalances de agua. Tazaki (1960) determinó una ecuación relacionando la resistencia a sequía de las plántulas a tres factores individuales de las mismas. Aplicándola se puede determinar diferencias debido a la resistencia cuticular, alto contenido de agua o tolerancia a la sequía. El papel de la raíz también ha sido medido por determinaciones del potencial de agua en la raíz a diferentes grados de humedad; sin embargo, esto sólo es un aspecto del factor-raíz y no un método para medir la total contribución de éste al desarrollo de la planta a la resistencia a la sequía, establece Levitt (1972).

Babalola y Fawusi (1980) en estudios de invernadero, sostienen que la permanencia del cierre de los estomas ante una tensión de humedad, en orden a reducir las pérdidas de vapor por transpiración, es característica favorable en condiciones de sequía. La tolerancia a sequía depende de la habilidad de controlar la transpiración y el rastreo de la humedad del suelo por las raíces. También la producción de mucho follaje es un factor de susceptibilidad a sequía. Y la profundidad de raíces es definitivamente una ventaja para la exploración del subsuelo cuando la capa superficial está seca.

3.4. RESPUESTAS DE ADAPTACION DE LA PAPA A LA SEQUIA

Operan en la papa, mecanismos de disminución de transpiración por reducción del área foliar debido a la disminución de la presión de turgencia, desprendimiento de hojas, temprana maduración de la planta y regulación de acción de los estomas (Haverkort, 1976). Sin embargo, el desprendimiento de hojas y la maduración precoz, no son mecanismos deseables de

adaptación porque impiden niveles normales de fotosíntesis. Glas, (1977).

Efectivos mecanismos de absorción de agua, ajuste de área foliar, enrollamiento de hojas y cierre de estomas, pueden conducir a un incremento en la productividad en tierras áridas (Wilson, 1978).

3.5. CRITERIOS Y DIFICULTADES PARA SELECCIONAR VARIEDADES RESISTENTES

Las características específicamente beneficiosas, bajo condiciones de sequía, no han sido identificadas. Con la excepción de la profundización de las raíces en el trigo, para rastrear un volumen mayor de suelo en busca de agua (Begg y Turner, 1976).

Kramer (1969), también visualiza el problema asociado con el desarrollo de un método de selección, por el desconocimiento de la forma en que es dañada la planta por la falta de agua y porque no es fácil identificar las diferencias entre especies. Pregunta si es el mejor control de estomas y cuticular sobre la transpiración, o si es debido a un sistema radicular más eficiente o a un protoplasma más resistente a la deshidratación. Se carece de respuesta a preguntas como éstas y a otras sobre el desarrollo de cultivos y Programas de mejoramiento.

Como en el caso de la resistencia a la "Helada" es posible medir la resistencia a la sequía cualitativa o semicuantitativamente, por supervivencia en campo, pero los métodos usados son diferentes en los dos casos. La resistencia a la "Helada" puede ser evaluada en el campo, durante lar-

go tiempo (2-5 meses), después de que los daños han ocurrido a las plantas latentes, pero antes de cualquier desarrollo apreciable posterior. Los daños de la sequía, por el contrario, ocurren durante el período vegetativo, y las plantas crecen y producen antes, durante y después de la sequía. Se asume resistencia a sequía, paralelamente al rendimiento. Entonces la resistencia es la combinación de muchas cosas, así el rendimiento no depende sólo de la habilidad de la planta a sobrevivir, sino también de su capacidad de crecer y completar su desarrollo antes, durante o después de la sequía.

En la India, por ejemplo, sólo las variedades de trigo que producen buenos rendimientos son aquellas que completan su desarrollo antes de la sequía. En este caso el rendimiento no es una medida de resistencia, sino meramente un escape (Levitt, 1972).

Por lo que parece, no existe una sola característica que puede ser usada como un criterio de selección para la resistencia a la sequía bajo amplias condiciones.

Wilson (1978), experimentó en cámaras de desarrollo, controlando la humedad y temperatura, evaluando características (absorción de agua, área foliar, grado de transpiración) que potencialmente pueden ser usadas como criterio de selección de tolerancia a sequía. De otro lado, Slatyer (1970) establece que la sequía no altera directamente el aparato fotosintético, hasta que las plantas son desecadas con un marchitamiento permanente. El atribuye la declinación fotosintética sólo al cierre de estomas.

Para abundar más en la dificultad de establecer un criterio de resistencia, Ludlow (1976), citado por Begg y Turner (1976), establece que el grado de tolerancia a sequía estaba más asociado con el medio ambiente al cual las plantas se habían adaptado que a un grupo taxonómico. Otros investigadores muestran diferencias existentes en la tolerancia a sequía en el sorgo y la cebada, y otros establecen valores de potencial de agua en un rango de -31 a -48 bars entre variedades de sorgo, a las cuales las hojas pueden ser tensionadas y mostrar luego el 50% de recuperación.

Sin embargo, los métodos usados para evaluar la tolerancia todavía necesitan ser relacionados con la tolerancia a sequía en el campo. Al intentar pasar los resultados del invernadero a las condiciones de campo, aparecen dificultades debidas al más rápido desarrollo de una severa tensión de humedad para las plantas que se desarrollan en pequeñas macetas. Así, el aumento de la tensión de humedad durante un ciclo de sequedad es más gradual en el desarrollo de la planta en el campo, y la posibilidad de recuperación nocturna es grande, mientras pueda tener acceso al agua en la parte más baja del perfil del suelo (Begg y Turner, 1976).

3.6. TRANSPIRACION DE LAS PLANTAS COMO CRITERIO DE SELECCION

La transpiración, indica Kramer (1974), es un mal inevitable: inevitable debido a la estructura de la planta, y mal porque a menudo tiene por resultados déficits hídricos y daños por desecación.

Semejante a la evapotranspiración de un cultivo, la transpiración para hojas individuales depende de una energía suministrada para satisfacer

la demanda de calor latente, de un gradiente de concentración de vapor de agua que provee la fuerza impulsora para el movimiento del vapor y las resistencias de difusión que están localizadas en el camino del vapor. Esos tres factores son interdependientes, particularmente los dos últimos (Slatyer, 1967).

3.7. DETERMINACION DE LA TRANSPIRACION

Existen dos métodos principales para la determinación de la transpiración, el primero envuelve la determinación en el cambio del peso del sistema, cuando otras fuentes de pérdida de peso son eliminadas o justifi cadas y el segundo método envuelve determinaciones en la proporción de pérdidas de vapor de agua. Estas últimas se hacen en cámaras de desarrollo (Wilson, 1978), o usando aparatos como el psicrómetro diferencial (Slatyer, 1967).

El primer método es análogo al método del balance hídrico usado para toda una plantación. Alcanza formas más exactas y significativas cuando es determinado por el peso de toda la planta (sustrato y contenedor) y la evaporación del suelo es minimizada o estimada de otra manera. En períodos cortos de varios días, los cambios en el contenido de agua dentro de la planta pueden ser omitidos, si las mediciones son hechas en un mismo momento cada día; p.ej., al amanecer. En períodos largos los cambios de peso fresco de la planta deben ser estimados o justificados, generalmente por cosechas periódicas en plantas sembradas para tal fin. La exactitud de este método depende del cambio mínimo de peso que pueda apreciarse.

La extrapolación de la transpiración así medida a transpiración para un cultivo bajo condiciones naturales, sólo pueden ser planteadas cuando la planta está sembrada en un microlisímetro, localizado en la misma comunidad de plantas. Cuando las determinaciones están hechas en el invernadero, es obvio que el ambiente puede ser tan diferente que la transpiración así medida, guarde poca relación con la del aire libre o del campo. Slatyer (1967), explica que las determinaciones de la transpiración en plantas individuales o en hojas desprendidas de las plantas, se refiere sólo al material con que han sido hechas y a las condiciones del medio ambiente en las que fueron realizadas.

3.8. COMPORTAMIENTO DE LA TRANSPIRACION BAJO TENSION DE HUMEDAD

Un aumento en la transpiración causa una disminución en la presión de turgencia de las hojas superiores. El grado de stress que se desarrollaría depende del desfase existente entre los procesos de transpiración y de absorción de agua por las raíces. Bajo condiciones de déficit hídrico en la planta, la tasa de transpiración es pequeña. Cuando el déficit hídrico alcanza un valor crítico para algunas especies o determinados estadios de desarrollo, entonces la turgencia es inducida y produce cambios en la apertura de los estomas (Ketellapper, 1963). Estos causan un incremento en la resistencia a la transpiración en la fase gaseosa.

En un experimento de invernadero, Slatyer (1967) estableció que la primera respuesta evidente al stress en el algodón era una reducción en su turgidez relativa que tenía una ligera influencia en la transpiración que se mantenía hasta que se llegaba a 10 atm. de stress, entonces la

transpiración caía incisivamente. Este cambio ocurría a una turgidez relativa del 83%. Werner (1954), observó los primeros signos de marchitez en papa a los niveles de 82 a 83% de turgidez relativa. Gardner y Ehlig (1963), presentaron datos de invernadero mostrando una aguda declinación en la transpiración a un potencial de agua en la hoja, característico.

3.9. FUNCIÓN DE LAS HOJAS EN LA TRANSPIRACION DE LOS CULTIVOS

Kramer (1974), especifica que en algunas especies vegetales, la formación de un grave déficit hídrico tiene por resultado la reducción del área foliar por el desprendimiento de hojas con la consiguiente reducción de pérdida de agua. Existen trabajos que muestran que al enrollarse las hojas que se marchitan, se reduce la transpiración en aproximadamente 35% en plantas de ambientes húmedos, 55% en especies mediterráneas y 75% en algunas xerófitas del desierto.

La orientación de las hojas también afecta la tasa de transpiración, porque las hojas que forman ángulos rectos con los rayos solares, están más calientes que las paralelas a la radiación incidente. Las hojas pequeñas, las profundamente disecadas y las hojas compuestas de hojas pequeñas tienden a estar más frescas que las hojas enteras, porque tienen capas limítrofes más delgadas que permiten una más rápida propagación del calor sensible. Las características reflectivas de la superficie foliar pueden también ser importantes en relación con la proporción de la radiación incidente total absorbida. Hojas pequeñas y brillantes, expone Kramer (1974), reflejan una proporción más grande de radiación incidente y

tienen un mayor albedo que las hojas mates y gruesas, que absorben más radiación y se calientan más.

3.10. INFLUENCIA DE LA COMPACTACION DEL SUELO EN LA PLANTA

Las operaciones posteriores a la aradura, tales como siembra, deshierbe y las labores con cultivadora, producen "pisos de tránsito" (capas compactas en el fondo de la zona de labranza). Aunque este tipo de compactación ocurre entre las líneas de siembra, tiene acción restrictiva en la penetración del agua y el desarrollo radicular (Gardner, 1972).

Parker y Jenny (1945), informan que la compactación del suelo por máquinas agrícolas en las huertas de California disminuyó grandemente la infiltración del agua. Aunque el efecto perjudicial de los tractores fue mayor cuando el campo se labró con humedad cercana a la capacidad de campo, la compactación también se produjo en suelos secos.

Según observaciones de campo, la densidad del suelo tiene un papel importante en la penetración de las raíces. Las raíces de muchas especies de plantas han sido rastreadas hasta una "losa", se les ha visto cambiar de dirección y crecer paralelas a la interfase friable (capa desmenuzada de tierra) entre el suelo y la losa (Gardner, 1972).

Veihmayer y Hendrickson (1948), en su estudio de la relación entre la densidad de diferentes tipos de suelo y la penetración de las raíces del girasol, hallaron que el "umbral de densidad" de las arenas era de 1.75 gr/cc y en las arcillas variaba entre 1.46 y 1.63 gr/cc. Como las

raíces penetraron en suelos saturados no compactados de los cuales la mayor parte del aire había sido expulsado, pensaron que la falta de penetración en los suelos compactados era debida al tamaño de los poros, más que a la falta de oxígeno. Se han hecho nuevos estudios sobre la concentración de oxígeno y su influencia sobre la penetración de las raíces, pero las conclusiones son que la impedancia mecánica resulta ser el factor principal que afecta el desarrollo de las raíces al sobrepasar una presión mayor de 20 lb/pulg² (1.406 kg/cm²).

Taylor y Gardner (1963), establecen que la resistencia del suelo a la penetración de raíces del algodón aumenta con la creciente densidad aparente y con mayores tensiones de humedad del suelo. Obtuvieron una correlación altamente significativa de -0.96 entre la penetración de las raíces y la resistencia del suelo. Los efectos de la tensión de humedad se relacionan con la resistencia del suelo a la penetración, para valores altos de la tensión.

Glas y Van Loon (1978), sostienen que el desarrollo de la raíz de papa es fuertemente afectado por la compactación del suelo. Las diferencias del desarrollo de la raíz son fuertemente reflejadas en la correspondiente diferencia del desarrollo del follaje. No registraron efectos en la calidad del tubérculo.

De Roo y Waggoner (1961), demuestran que la raíz de papa se inhibe de penetrar en un hard-pan (capa dura) inducido por la labor de aradura normal. Del mismo modo, Lesczynski y Tanner (1976) comparando la papa con otros cultivos, establecen que casi todas sus raíces están confinadas

a la capa de aradura con pequeña o ninguna penetración en un piso de arado o capa dura, si existe.

En la extrema sequía del año 1976, fueron estudiados los efectos de una compactación artificial en y debajo de la capa de arado, en la RESEARCH STATION ARABLE FARMING (RSAF), Lelystad, Holanda, por Boone, Van Loon y Swet, encontrando efectos significativos de la resistencia mecánica sobre la raíz y el follaje, desarrollo, calidad del tubérculo y rendimiento. Este trabajo es citado por Glas y Van Loon (1978) quienes, a su vez, concluyen que la absorción de agua era menor en los tratamientos de fuerte compactación y la compactación del subsuelo, que los otros de control sin riego y medianamente compactados.

Struchtemeyer, Epstein y Grant (1963) reportan, en un estudio de cuatro años, que la compactación debida al uso de aparatos móviles de aspersión, podía reducir la cosecha de papa entre un 8 y 31%. Y que estudios de infiltración indicaban un aumento de 3 a 30 veces más de infiltración de los surcos donde no pasaba el aparato aspersor. Timm y Flocker (1976) no encontraron cambios, ni con fertilizantes ni con las prácticas de riego, que aliviaran los adversos efectos de la compactación del suelo sobre la calidad y rendimiento de la papa.

Harris (1978), indica que la profundidad efectiva de la papa es de 56 cm., para el maíz es de 77 cm. y para el tomate 90 cm. y también muestra la siguiente tabla comparativa:

Tabla 2.1.

Máxima cantidad de agua removida por cada horizonte de suelo

Valores medios para tres años: 1969-71

<u>Altura</u>	<u>CULTIVOS</u>		
	<u>Papa</u>	<u>Caña de azúcar</u>	<u>Cebada</u>
	(mm/10 cm. de horizonte)		
30 - 40	15	16	16
40 - 50	13	14	16
50 - 60	11	13	13
60 - 70	9	13	13
70 - 80	7	12	12
80 - 90	5	12	11
90 - 100	5	10	8

En la que se demuestra que las raíces de la papa rastrean el suelo con menos efectividad y a menor profundidad.

3.11. SUPERVIVENCIA A REPETIDOS PERIODOS DE SEQUIA

Este es un método muy antiguo de determinar la resistencia a la sequía, quitando simplemente el agua a las plantas desde el inicio y determinar cuánto tiempo sobreviven o el porcentaje de supervivencia después de un tiempo arbitrario de por ejemplo, dos semanas, con riego nulo. Levitt (1972) expone que una variación de este método es contar el tiempo a partir del momento en que las plantas alcanzan su punto de marchitez permanente. Es muy visible que la sequía artificial desarrollada en ambien-

tes controlados o cámaras de sequía, permite eliminar plantas y encontrar diferencias existentes entre especies y aun entre variedades de resistencia a esta sequía artificial, pero la correlación con experiencias de campo suele fallar. Levitt (1972), define la supervivencia como la sequía ambiental que es justo suficiente para suprimir el 50% de plantas. Pero las determinaciones de resistencia a sequía por el uso de este concepto, son complejas en la práctica, porque las condiciones bajo las que deben ser hechas no están definidas.

Wilson y Sarles (1978) proponen un método basado en el máximo volumen de agua que puede ser suministrado por las raíces de la planta y el volumen de agua requerido para la supervivencia a la sequía y definen un término de Desarrollo de Resistencia a Sequía (DRS) como la sequía ambiental que es justo suficiente para detener la expansión del área foliar. La sequía ambiental es determinada por las mediciones de la evaporación con un cilindro standard o calibrado. Estas cuantificaciones pueden ser un método potencial de selección de Resistencia a Sequía. Comunicación de Dr. Glas con Dr. Wilson (1977).

CAPITULO IV
MATERIALES Y METODOS

Este capítulo está organizado de acuerdo a las dos fases que tuvieron los experimentos:

- . Fase 1 : diseño preliminar. Arreglos experimentales iniciales, donde se estudiaba la característica medida buscando su uso como criterio de selección.
- . Fase 2 : diseño modificado. Se usaba la característica medida en la primera fase, buscando en estos estudios, la facilidad de su uso y la efectividad en la selección de material resistente a sequía.

El ordenamiento de los experimentos en este capítulo se inicia con los de Transpiración, luego los de Compactación y, finalmente, con los experimentos de Supervivencia, subdivididos en las fases 1 y 2, esto es, primero los diseños preliminares y seguidamente los diseños modificados.

4.1. EXPERIMENTOS DE TRANSPIRACION

4.1.1. DISEÑOS PRELIMINARES

El objeto de estos experimentos era investigar si la transpiración medida durante y después de un período de sequía era un criterio útil de selección para la tolerancia a la sequía.

4.1.1.1. MATERIALES

Con los diseños preliminares que se describen abajo se llevaron a cabo cinco experimentos con la evaluación de cuarenta y dos variedades de papa (*Solanum Tuberosum*) en un período de seis meses. El material usado provenía de especies genéticamente diferentes:

- a) Variedades de papa comerciales: Mariva, Merpata, Revolución, Tomasa T. Condemayta, Renacimiento, entre otras.
- b) Variedades representativas del Banco de Germoplasma del Centro Internacional de la Papa.
- c) Variedades con resistencia a la "Helada".
- d) Especies silvestres que se desarrollan en la Costa bajo condiciones casi-desérticas (*Solanum medians*, *Solanum Verrucosum*, *Solanum stoloniferum*, etc.).

Este material había mostrado amplias diferencias en resistencia a la sequía en campo.

4.1.1.2. SIEMBRA

Se sembraron plántulas de diferentes variedades de papa de 3 a 4 semanas de edad, en pequeñas macetas de plástico de aproximadamente 8 cm de diámetro y 10 cm de altura y 300 grs de una mezcla de suelo y arena. Determinándose previamente la capacidad de campo y usando las macetas sin plantas, la evaporación del suelo. Luego se llevó a todas las macetas a un contenido de humedad cercano a la capacidad de campo (c.c.) y se dejó

que las plantas transpiraran el exceso de agua alrededor de dos días. Se pesaron todas las macetas y nuevamente después de un período de 48 horas se calculó el promedio de la transpiración potencial $(W_i - W_f)/t$. Se midió la altura de las plantas y se contó el número de hojas. Se estimó el área foliar. Los experimentos se llevaron a cabo en un invernadero del Centro Internacional de la Papa (CIP) situado en La Molina (Lima), que carecía de facilidades para controlar el ambiente: (temperatura, humedad, radiación solar, etc.).

4.1.1.3. TRATAMIENTOS DE RIEGO

Posteriormente se regaron cada una de las macetas, agua que era aplicada mediante una probeta graduada, cada tres o cuatro días, de acuerdo a los siguientes tratamientos:

- T_0 : Riego óptimo, aproximado a la c.c. (entre 75 y 125 ml de agua, dependiendo de las condiciones del ambiente, del área foliar, etc.).
- T_1 : Aplicación del 50% de la cantidad de T_0 , durante los períodos de simulación de sequía y 100% de la cantidad de T_0 durante los períodos de recuperación.
- T_2 : Aplicación del 25% de la cantidad de T_0 durante los períodos de simulación de sequía y 100% de la cantidad de T_0 durante los períodos de recuperación.

Se tomaron nueve plantas de cada variedad y cada tratamiento de riego era aplicado a tres plantas, las de tratamiento T_0 se tenían como testigos.

4.1.1.4. METODOS

El agua transpirada por las plantas era medida pesando las macetas antes y después de cada riego, poniéndolas en una balanza eléctrica con aproximación a décimas de gr. Se calculó la transpiración en ml/día para la pérdida de peso y el período de tiempo entre riegos.

Las pérdidas de evaporación del agua a través del suelo eran minimizadas cerrando las macetas, inicialmente con bolsas de plástico y luego con sus mismas tapas de plástico, que contenían un agujero central dejando pasar el tallo de la planta. El fondo de la maceta tenía un agujero que permitía la aereación y el posible drenaje. Se tomó la altura de las plantas periódicamente y se contaron las hojas con cierta regularidad. Se colocó un alambre en cada maceta para dar soporte al tallo y se aplicaron insecticidas foliares y nutrientes NPK en soluciones 12:12:12. En estos diseños preliminares no se usó diseño estadístico alguno. Sólo hubo un ordenamiento en columnas para cada variedad e identificación de macetas para cada tratamiento de riego.

4.1.2. DISEÑO MODIFICADO

El objeto de este diseño era probar la eficiencia en términos de tiempo y requerimientos de labor, comparado al diseño preliminar.

4.1.2.1. MATERIALES

En noviembre 17, se transplantaron plantas de tres semanas de catorce variedades del Proyecto de Resistencia a "Helada" (que parece ser mostrarían algunas características de tolerancia a sequía) en pequeñas macetas de arcilla, conteniendo alrededor de 400 grs de una mezcla de musgo y arena. Se cambiaron las macetas de plástico por la dificultad que presentaban en su manejo en las pesadas y en el riego. Estas macetas se colocaron en un invernadero del CIP, sin facilidades de control ambiental. La superficie del suelo fue cubierta por una capa de pequeños cubos de plástico (mulch) para prevenir la evaporación, los métodos que habían sido usados anteriormente dificultaban el riego y dañaban las plantas.

Hasta diciembre 5, todas las plantas fueron regadas cada dos o tres días con agua destilada y cada cuatro riegos con 2% de una solución de fertilizantes conteniendo 12% de NPK. Se suministró a las plantas de micronutrientes mediante abonos foliares.

4.1.2.2. METODOS

Durante el primer período de sequía, desde diciembre 5 hasta enero 5 (un mes), el agua se aplicaba cada dos o tres días de acuerdo a los tratamientos T_0 , T_1 y T_2 , anteriormente descritos. Desde enero 5 a enero 15 (10 días), todas las plantas fueron regadas según el tratamiento T_0 para permitir su recuperación. En enero 15 se inició un segundo período de sequía que duró hasta el 12 de febrero (aprox. un mes), después del cual se inició un segundo período de recuperación. La cantidad de agua aplicada

en cada riego en T_0 era una cantidad aproximada de agua transpirada desde el riego dos o tres días antes. Esta cantidad de agua era determinada pesando una maceta testigo (riego óptimo) de cada variedad después de cada riego y antes del siguiente.

La transpiración de todas las plantas en los tres tratamientos fue medida una vez durante el período de sequía por el peso de todas las macetas, después de enero 3 y antes del riego de enero 5 y una vez al final del período de recuperación por una pesada general después de enero 13 y antes del riego en enero 15. Se inició un período de sequía ese mismo día que duró aproximadamente un mes, hasta febrero 11. Una medición general similar a la anterior, se realizó entre el 16 y 19 de febrero y entre el 21 y 23 de febrero en el segundo período de recuperación.

Como en los diseños preliminares se midió periódicamente la altura de las plantas y el número de hojas y se aplicaron insecticidas foliares, principalmente para combatir los ácaros.

4.1.2.3. DISEÑOS ESTADÍSTICOS

En este experimento las macetas fueron acomodadas de acuerdo a un diseño de parcelas divididas en tres bloques completamente randomizados, los tratamientos de riego como parcelas principales y las variedades como subparcelas. Entonces el estudio realizado era sobre tres volúmenes de riego (T_0 , T_1 y T_2) en catorce variedades de papa y en tres repeticiones. Se efectuó el Análisis de Variancia sobre los resultados de la Transpiración y la Prueba de Significancia de Duncan (Duncan's New Multiple Range

Test) y la Prueba de DLS (Diferencia Límite de Significación) ambas para establecer la significancia estadística de los efectos principales entre variedades y entre tratamientos.

4.2. EXPERIMENTOS DE COMPACTACIÓN

4.2.1. DISEÑO PRELIMINAR

El objetivo era desarrollar un método para estudiar el comportamiento de las raíces de la papa en suelos diversamente compactados. La capacidad de una planta para desarrollar un extenso y activo sistema radicular en condiciones de suelo adversas, es posiblemente la característica más importante para determinar su potencial de escape al stress por sequía.

Un rápido y fácil método de tamizar el desarrollo de las raíces en un suelo compactado, en una fase temprana de desarrollo, sería una herramienta útil para identificar posibles diferencias entre genotipos en su habilidad para escapar a la escasez de humedad del suelo; suministrando una relación confiable que posteriormente pueda ser establecida entre los resultados obtenidos por el test y su comportamiento bajo condiciones de campo.

4.2.1.1. MATERIALES

Se usaron vasijas de material plástico de aproximadamente 10 cm de diámetro y 9 cm de altura, de consistencia relativamente flexible, a las que se les cortó el fondo dejándolo abierto para facilitar la observación de raíces en fechas posteriores. Los envases fueron llenados con un suelo franco de 45% de arena, 35% de limo y 20% de arcilla, tenía materia orgánica con un contenido de 1% aproximadamente y una estructura muy pobre en su estado natural. El suelo era presecado, pasado a través del tamiz de 2 mm, desinfectado y humedecido con un contenido de humedad del 10% antes de meterlo a los envases de plástico para facilitar la operación de compactado.

Previamente se determinó su densidad aparente (1.2 gr/cc). La uniformidad en la compactación se logró empleando un mazo de forma cilíndrica y base plana, se compactó el suelo hasta lograr densidades de 1.4 y 1.6 gr/cc y obtener capas de 2.5 y 5.0 cm para cada densidad de estudio. Los envases con suelo de densidad 1.2 (densidad de campo) serían usados como posibles testigos. Las capas de suelo eran sostenidas por debajo con una malla de plástico y por una tapa removible en el fondo de los envases.

4.2.1.2. SIEMBRA

En octubre 12, se sembraron cuatro semillas botánicas de papa en cada vasija, las familias de papa usadas en este experimento fueron de un cruce de Ccompis con las variedades Revolución, Mariva, Merpata, Ranrahir

ca y Renacimiento. Los envases fueron colocados en un invernadero del CIP. Las semillas se sembraron en una capa de 5 cm de mezcla de Jiffy* con arena puesta encima de la capa compactada de suelo, con el fin de que a la emergencia las plantas encontraran condiciones óptimas para su crecimiento y que posteriormente sus raíces tropezaran con el problema de suelo compactado.

4.2.1.3. METODOS Y DISEÑOS ESTADISTICOS

El análisis estadístico fue realizado para un diseño factorial de tres factores: la comparación de tres densidades en dos niveles de altura para cinco familias de papa, distribuidas en tres bloques completamente randomizados, resultando un total de 90 unidades experimentales. Se usó la prueba de Duncan para establecer la significancia estadística entre los efectos de los factores: 3A (1.2, 1.4 y 1.6 gr/cc), 2B (2.5 y 5.0 cm) y 5C.

La humedad adecuada fue mantenida inicialmente por aplicaciones de agua a la mezcla de jiffy-arena y cuando las raíces comenzaron a ingresar a la capa de suelo compactado, se acomodaron las vasijas de 6 en 6, en bandejas de 40 x 25 x 6 cm., que se pusieron niveladas sobre una mesa con el objeto de iniciar un riego por gradiente y ascenso capilar, para atraer las raíces a la parte de abajo. El número de raíces que pasaban la capa compactada eran contadas quitando las tapas y mallas del fondo de los enses luego de colocarlos en forma horizontal respecto de su eje. Esta ope

* Jiffy-Mix plus, es una mezcla de turba desmenuzada y enriquecida con vermiculita.

ración se realizó en noviembre 3, 8, 13 y 25 entre otras para todos los envases.

4.2.2. DISEÑO MODIFICADO

4.2.2.1. MATERIALES

Un segundo estudio de compactación se inició en enero 26, sembrando un total de 10 semillas de una de las cinco familias estudiadas en el experimento de diseño preliminar, en cada uno de los 90 cilindros conteniendo capas de suelo compactado de alturas de 4 y 8 cm y una densidad de 1.2, 1.5 y 1.8 gr/cc.

En un intento de reducir el coeficiente de variabilidad encontrado en el diseño preliminar, los envases de paredes flexibles fueron sustituidos por cilindros hechos de tubos de PVC de paredes rígidas de 3 mm de espesor, con el fin de lograr una compactación más uniforme y prevenir cambios en la densidad durante las observaciones en las raíces.

El número de semillas plantadas por cilindro fue aumentado a 10. Sobre febrero 11, se dejaron sólo cinco plántulas, las más uniformes por cilindro eliminando las restantes. El 12 de febrero se inició el conteo de raíces. Los cilindros abiertos por su base fueron puestos sobre tapas de plástico de 12 cm de diámetro por 2 cm de alto, que permitían el riego individual de cada cilindro, con el intento de dar una humedad uniforme para cada tratamiento. Los rangos en la densidad y en la profundidad fueron incrementados con el objeto de aumentar las posibles diferencias en

número de raíces pasadas entre genotipos y entre tratamientos. El diseño estadístico fue el mismo que el usado en el experimento preliminar.

4.2.2.2. METODOS

A partir de febrero 12, en que las raíces pasaron a través de las capas de espesor de 4 cm en densidades de 1.2 y 1.5 gr/cc, se realizaron observaciones con frecuente periodicidad hasta el 24 de marzo, en que se dio por finalizado el estudio.

4.3. EXPERIMENTOS BASADOS EN LA SUPERVIVENCIA DE PLANTAS

4.3.1. DISEÑO PRELIMINAR

Investigar si la supervivencia de plantas después de la exposición a repetidos períodos de stress de humedad puede ser un criterio útil de selección para la tolerancia a sequía.

4.3.1.1. MATERIALES

Se usaron cinco familias de papa obtenidas pro cruce de Ccompis por Mariva, Merpata, Ranrahirca, Renacimiento y Revolución, sembrándose éstas en setiembre 15, en bodegas de 40 x 25 cm conteniendo una capa de 5 cm de alto de una mezcla de musgo, arena y suelo de Pomacocha. En cada bandeja se sembraron 60 semillas distribuidas en doce líneas. Cada familia iba

en dos bandejas, una con riego óptimo, usada como testigo y la otra sometida a sequía.

Estas bandejas fueron puestas sobre otras ligeramente más largas y profundas, permitiendo el riego por debajo. Las bandejas tenían unos agujeros que permitían la absorción del agua por las raíces y el suelo, previamente éste se había colocado sobre una malla plástica para impedir su caída. Durante los 29 días iniciales del experimento, todas las bandejas fueron regadas uniformemente, siempre que la tensión de humedad, indicada por pequeños tensiómetros, colocados en cada bandeja, se aproximaba a 0.3 bares.

El rango de emergencia de todas las familias fue de 80 a 90% a los 20 días después de sembradas y 95 - 100%, 9 días más tarde. El promedio de altura para esta fecha era de 6.6 cm, con una desviación standard por bandeja que iba de 1.6 a 2.1. La variación en tamaño de las plantas fue disminuida por eliminación de las más pequeñas hasta dejar 45 plantas por bandeja.

Después de regar todas las bandejas uniformemente y hasta capacidad de campo (c.c.) durante el primer mes, las plantas en una de las dos bandejas por familia, fueron expuestas a sucesivos períodos de sequía y recuperación con el continuo aumento del período de tiempo entre los riegos. Se aplicaba agua a las plantas cuando los síntomas de stress eran serios y un cierto porcentaje de plantas estaba probablemente muertas. Las segundas bandejas de cada familia, que servían como control, se regaban cada 2 ó 3 días, durante todo el experimento, siempre que la tensión alcanzaba 0.3 bares.

4.3.1.2. MÉTODOS

El desarrollo y grado de stress exhibido por las plantas era observado visualmente, usando una escala semi-numérica, tomando dentro de la información: el ángulo de la hoja con respecto al tallo, color de hoja, grado de enrollamiento, grado de necrosis, ángulo de tallo (recto o caído), estimación de área foliar con respecto a la bandeja de control, altura de plantas respecto del control, grado de marchitez y apariencia general de la planta como una integración de las diversas observaciones individuales. En resumen, el número de plantas que sobrevivían un período de stress era contado unos pocos días después del riego de recuperación. No se usó ningún diseño estadístico en este caso.

4.3.2. DISEÑO MODIFICADO

4.3.2.1. MATERIALES

Se inició un segundo estudio de supervivencia en el invernadero, en enero 25, donde semillas botánicas de cinco familias diferentes, dos del primer experimento: Ccompis por Revolución y Ccompis por Mariva y tres del Proyecto de resistencia a la helada, fueron sembradas en 9 bandejas, conteniendo unos 5 cm de una mezcla de suelo y musgo. En cada bandeja fueron puestas dos líneas por familia y se sembraron seis semillas por línea.

4.3.2.2. METODOS

Después de que las plantas alcanzaban una altura de alrededor de 5 cm, fueron expuestas a tres tratamientos diferentes de riego, uno donde el agua era aplicada hasta c.c. y los otros dos simulando períodos de sequía de diferentes longitudes de tiempo, por el control de la cantidad de agua suministrada al inicio de los mismos. Se usó agua desalinizada en todos los riegos.

4.3.2.3. NUEVOS ANALISIS ESTADISTICOS

El análisis estadístico se realizó sobre un diseño de parcelas divididas con tres bloques completamente randomizados, las bandejas eran las parcelas principales a las cuales se les asignaban los tratamientos y las líneas de plantas de las diferentes familias las subparcelas en las bandejas, los distintos riegos eran asignados al azar. Se usó la Prueba de Significancia de Duncan para establecer diferencias entre variedades y entre tratamientos de riego. Las fechas y las cantidades de agua suministradas eran programadas de modo que las plantas muriesen en una fase temprana del experimento.

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSION

De la misma forma que el capítulo anterior, los resultados de los experimentos realizados están organizados de la siguiente manera:

- . Primero los experimentos preliminares de Transpiración. Resultados y discusión. En seguida, los diseños modificados de transpiración, igualmente con su resultado y discusión.
- . Luego, se han ordenado los experimentos de Compactación en sus dos fases: primero el diseño preliminar y luego el diseño modificado.
- . En tercer lugar, los experimentos de supervivencia de planta organizados de la misma manera que los experimentos anteriores. Fases preliminar y modificada.

5.1. EXPERIMENTOS DE TRANSPIRACION

5.1.1. RESULTADOS Y DISCUSION REFERENTES AL DISEÑO PRELIMINAR

5.1.1.1. VARIACIONES EN LOS PERIODOS DE SEQUIA

Los resultados se muestran en las figuras 5.1 a 5.5. La transpiración se da en ml/día en los tratamientos T_0 y T_2 (25% de T_0) en las figuras 5.1 y 5.2, pertenecientes a las especies silvestres *Solanum medians* y *Solanum stoloniferum*, respectivamente. Se indican las fechas de riego y las cantidades de agua en las barras verticales. Se presentan datos simi

lares para Mariva, Ranrahirca y DTO 2, entresacadas de los diversos experimentos preliminares realizados, en las figuras 5.3, 5.4 y 5.5. Se suman todos los datos de transpiración para esas y otras variedades en la Tabla 5.1. Para los tres tratamientos de riego se indican las fechas del inicio del primer período de sequía y la duración de los sucesivos períodos de sequía y recuperación. En el tratamiento T_0 el promedio de transpiración de tres plantas (TR_0) varía de 30 a 50 ml/día.

5.1.1.2. DIFERENCIA EN TRANSPIRACION ENTRE VARIEDADES

Como se ve, por las desviaciones standard mostradas en la Tabla 5.1, las diferencias de transpiración entre plantas del mismo genotipo son relativamente pequeñas. Las variaciones de TR_0 con el tiempo eran, algunas veces substanciales como en Mariva (ver Fig. 5.3) debido a variaciones de las condiciones ambientales (temperatura, intensidad de luz, humedad, etc.), cambios en el área foliar y variaciones en la cantidad de agua aplicada en cada riego.

El promedio de transpiración de tres plantas en T_1 y T_2 , (TR_1 y TR_2) es expresado como una fracción de TR_0 . Durante el primer período de sequía TR_1 varía de 0.46 a 0.64, mientras que los valores esperados estarían alrededor de 0.50. Las desviaciones para este valor pueden ser atribuidas a algunas sobre-obaja irrigación con respecto a la cantidad que debía ser aplicada de acuerdo al tratamiento T_1 (50% de la cantidad en T_0). TR_2 varía para el mismo período de 0.20 a 0.37, mientras que el valor teórico esperado estaría alrededor de 0.25.

Fig. 5.1. Fechas de riego, cantidad de agua suministrada (ml) y tasa de transpiración (ml/día) en T_0 y T_2 para la especie *S. medians*.

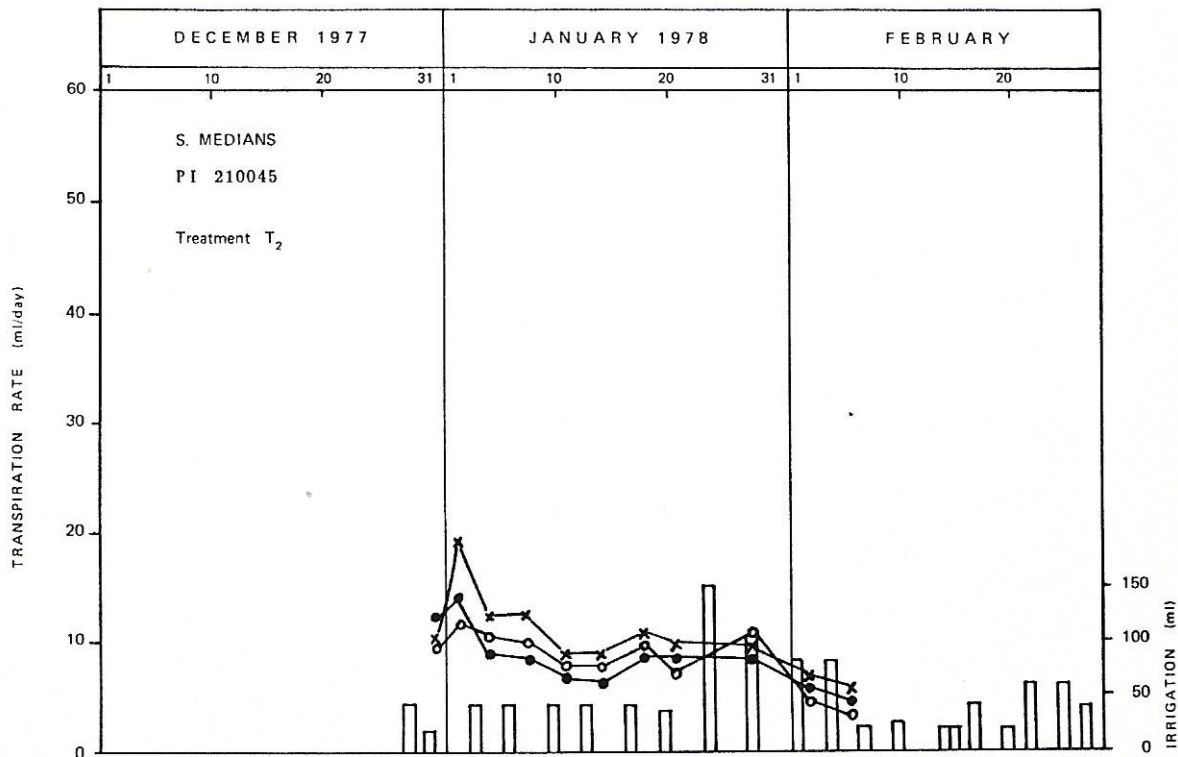
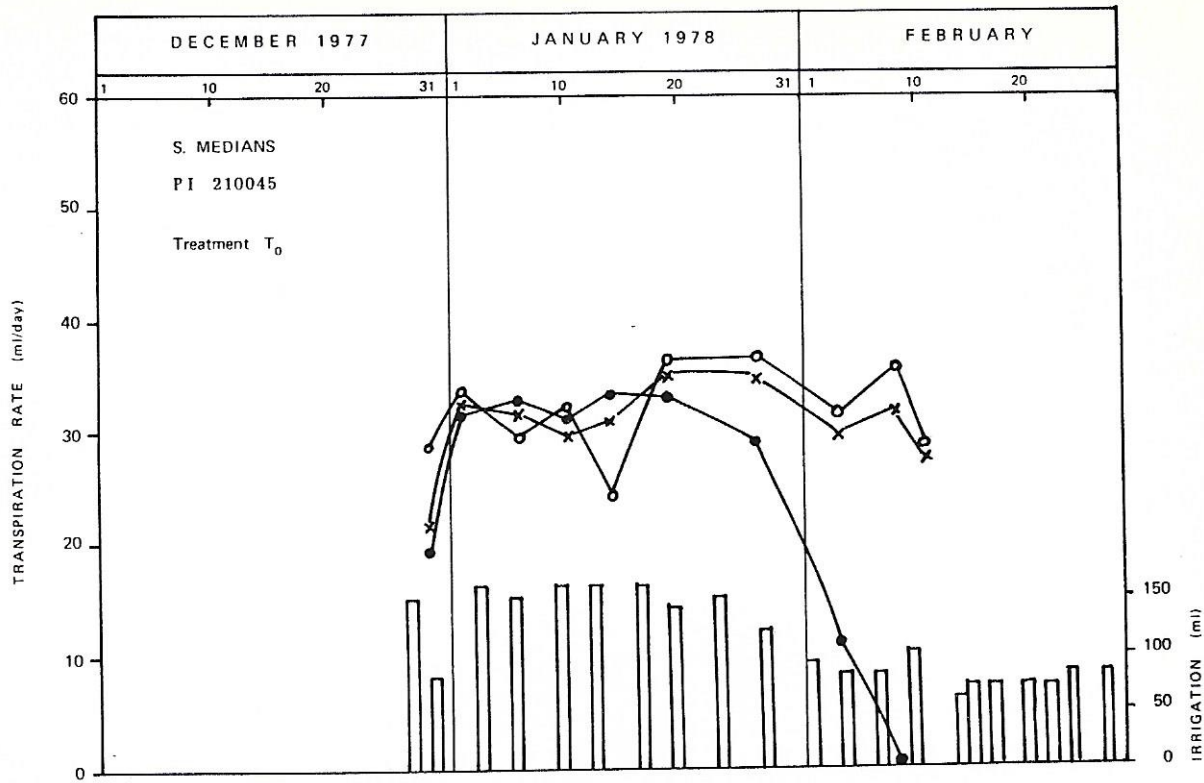


Fig. 5.2. Fechas de riego, cantidad de agua suministrada (ml) y tasa de transpiración (ml/día) en T_0 y T_2 para la especie *S. Stoloni-ferum*.

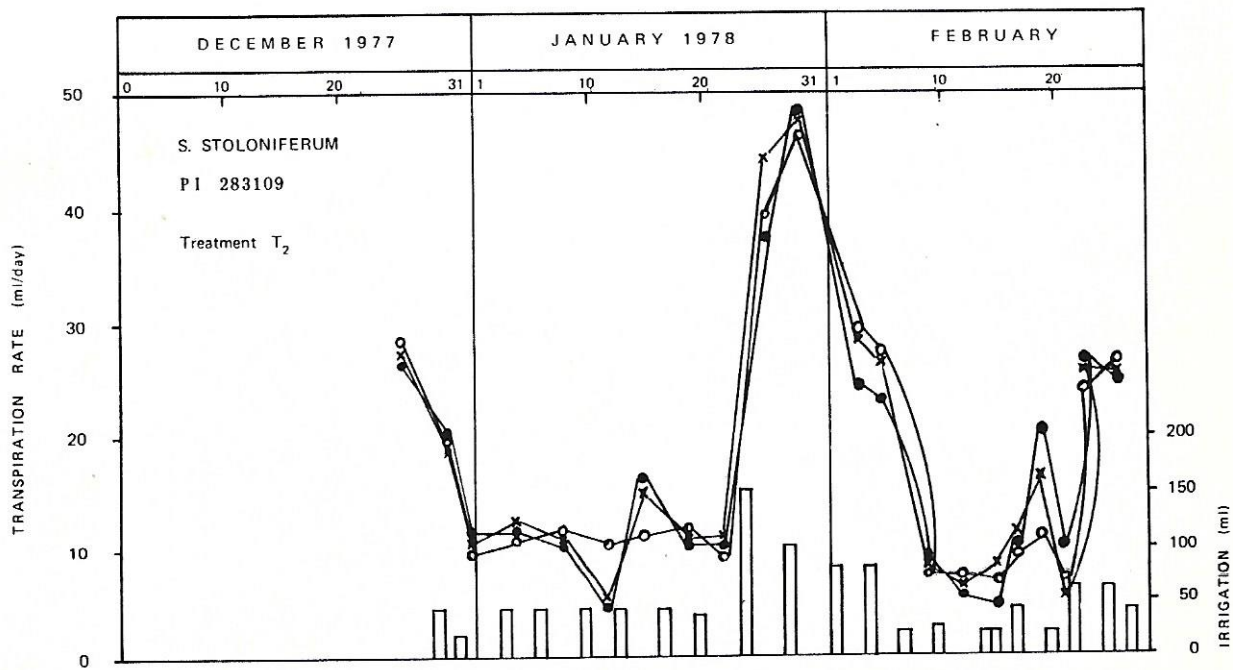
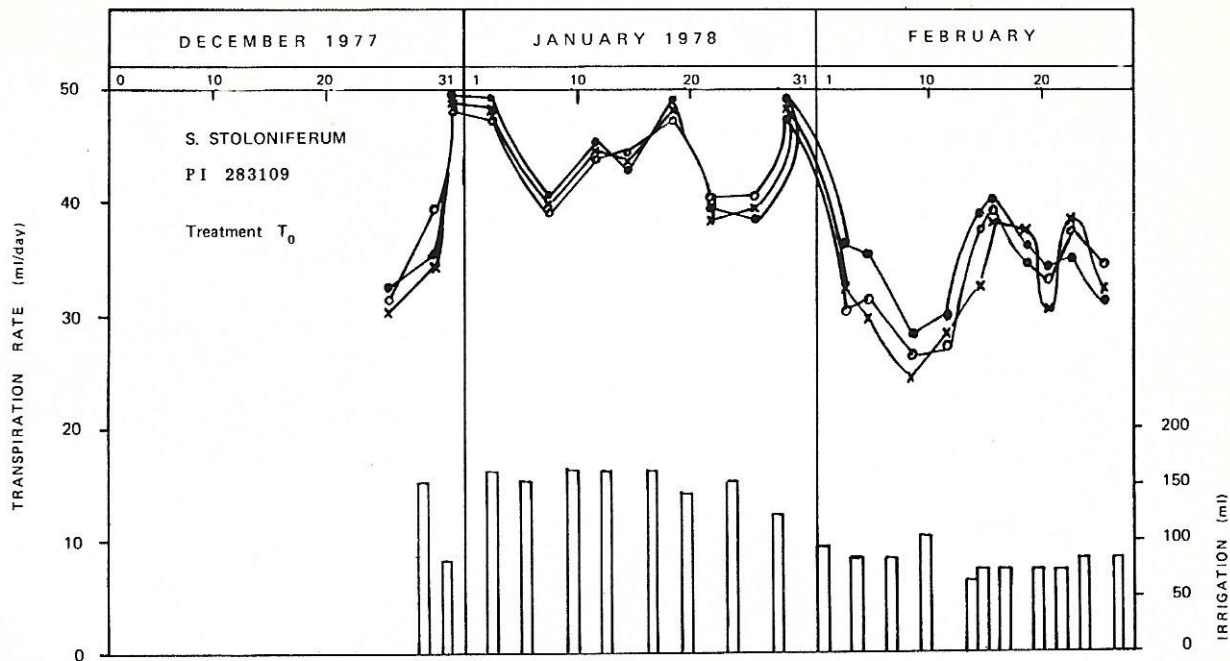


Fig. 5.3. Fechas de riego, cantidad de agua suministrada (ml) y tasa de transpiración (ml/día) en T_0 y T_2 para la variedad Mariva.

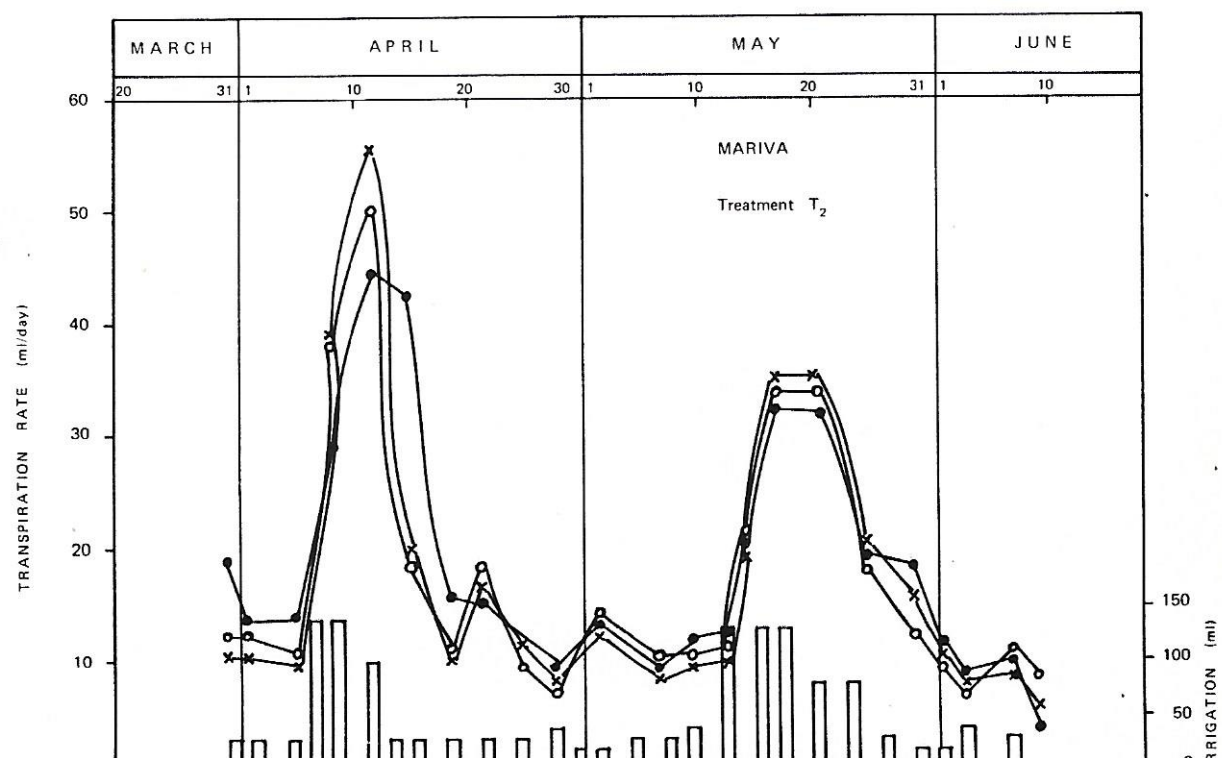
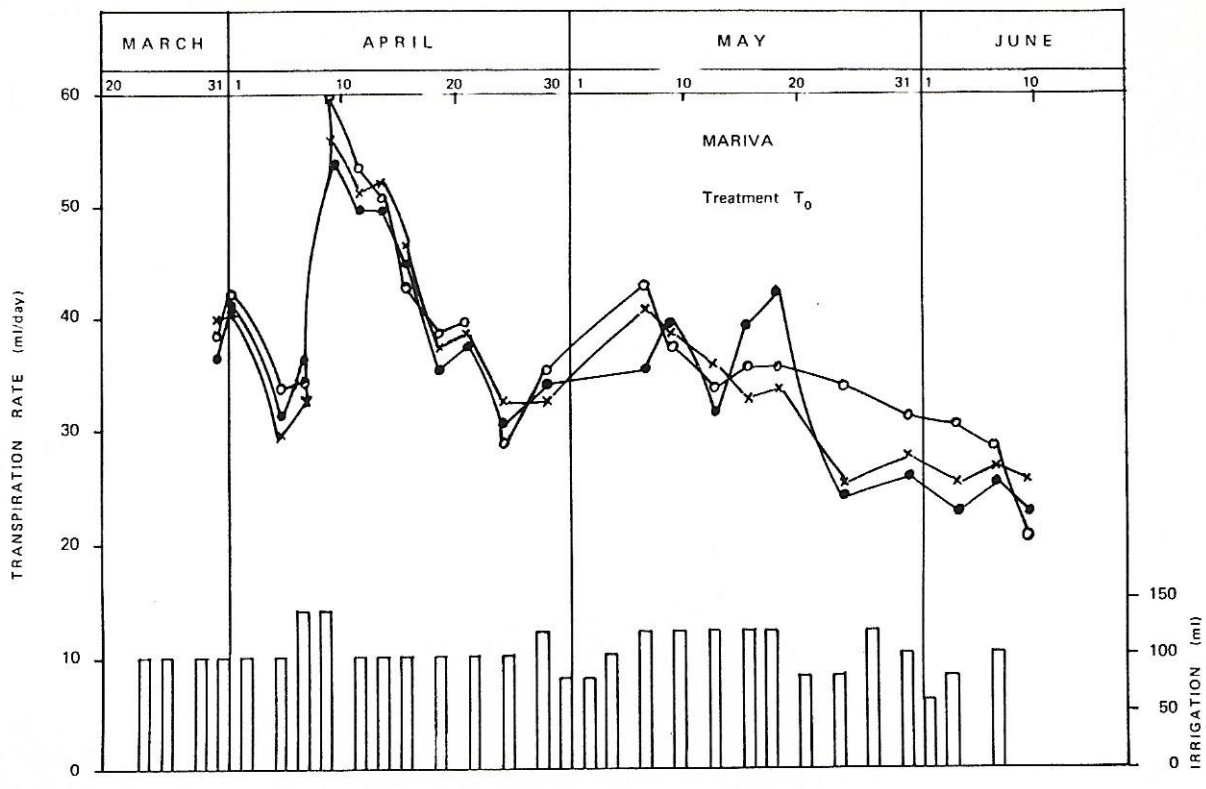


Fig. 5.4. Fechas de riego, cantidad de agua suministrada (ml) y tasa de transpiración (ml/día) en T_0 y T_2 para la variedad Ranrahirca.

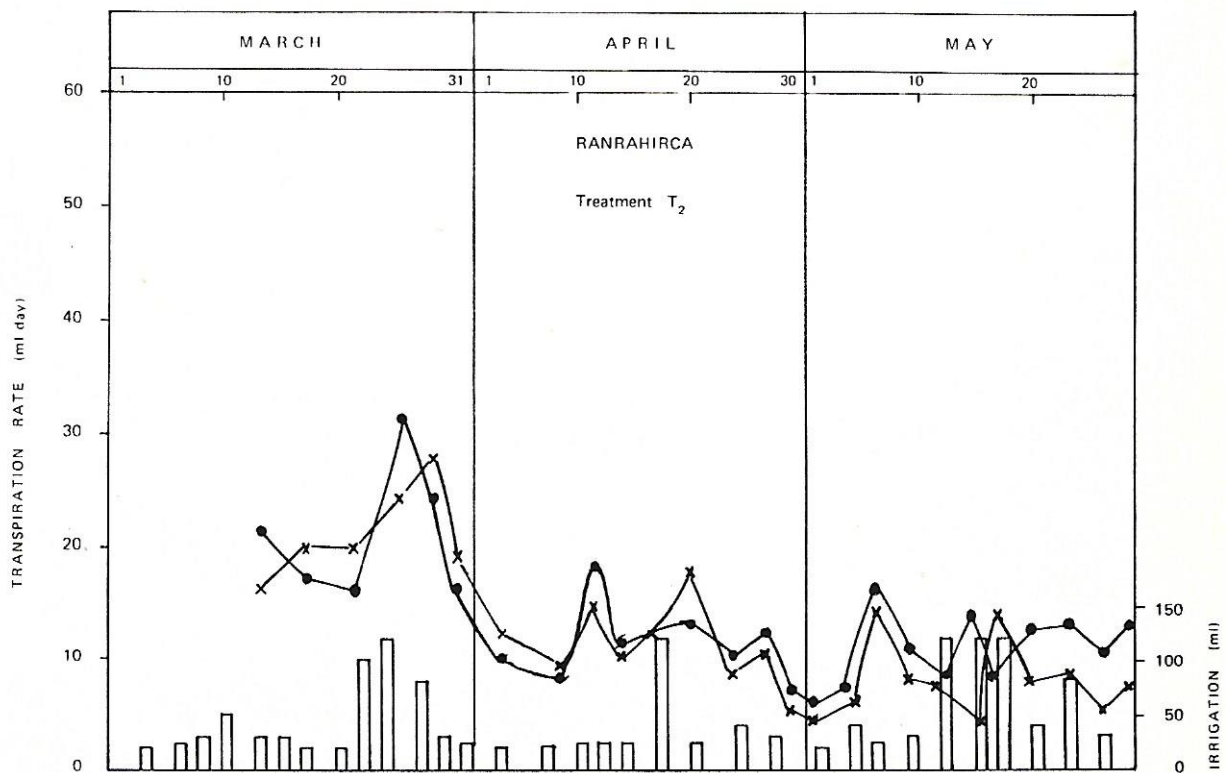
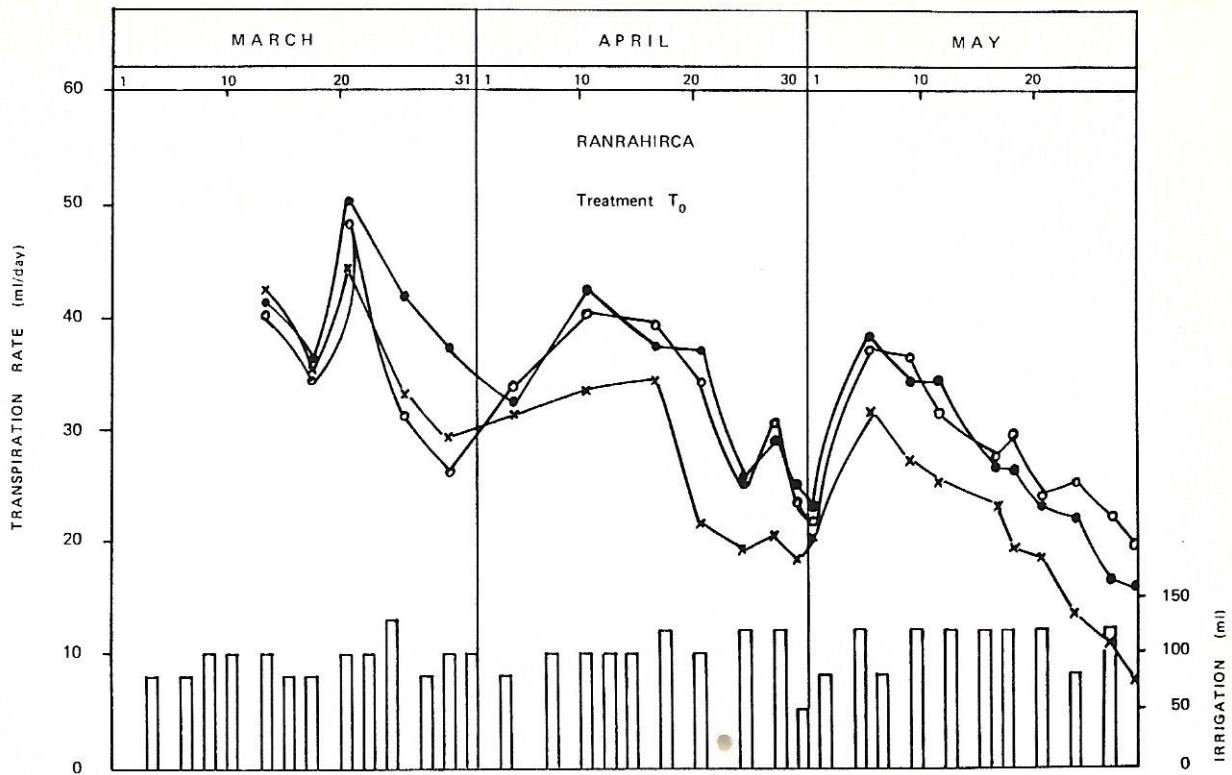


Fig. 5.5. Fechas de riego, cantidad de agua suministrada (ml) y tasa de transpiración (ml/día) en T_0 y T_2 para el Clon DTO 2. Banco de Germoplasma del Centro Internacional de la Papa.

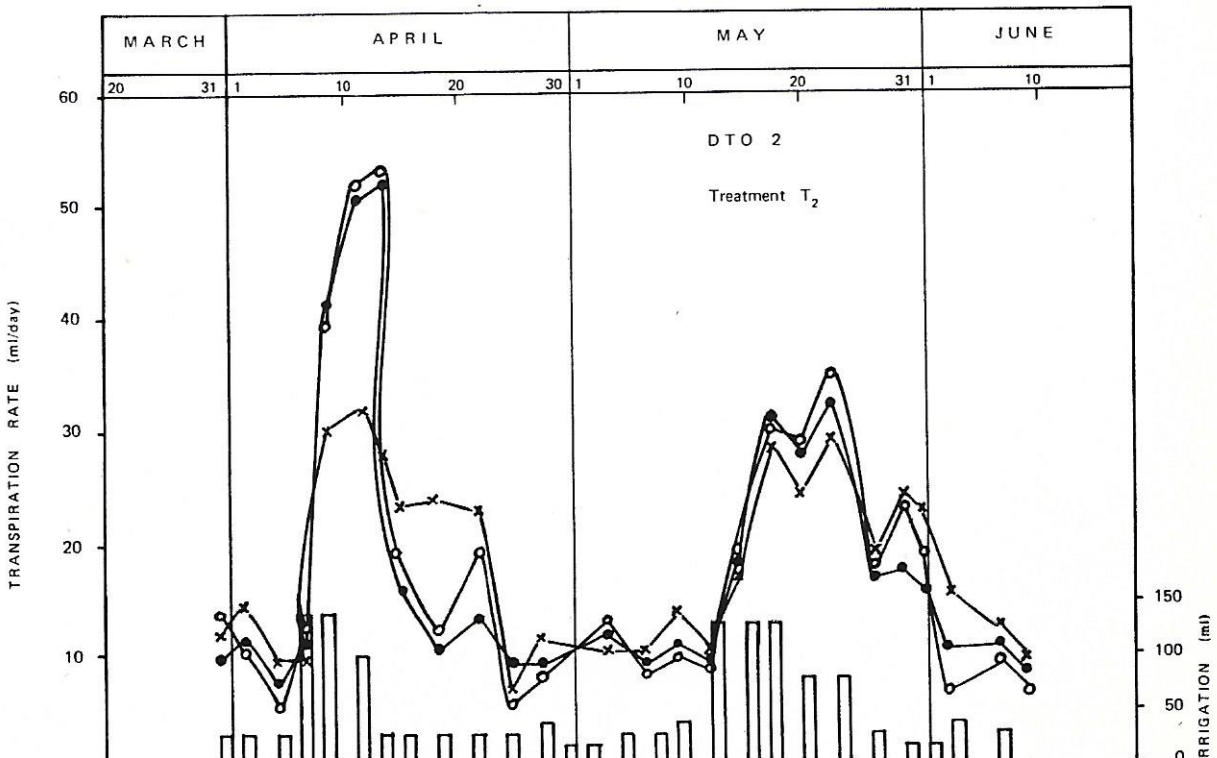
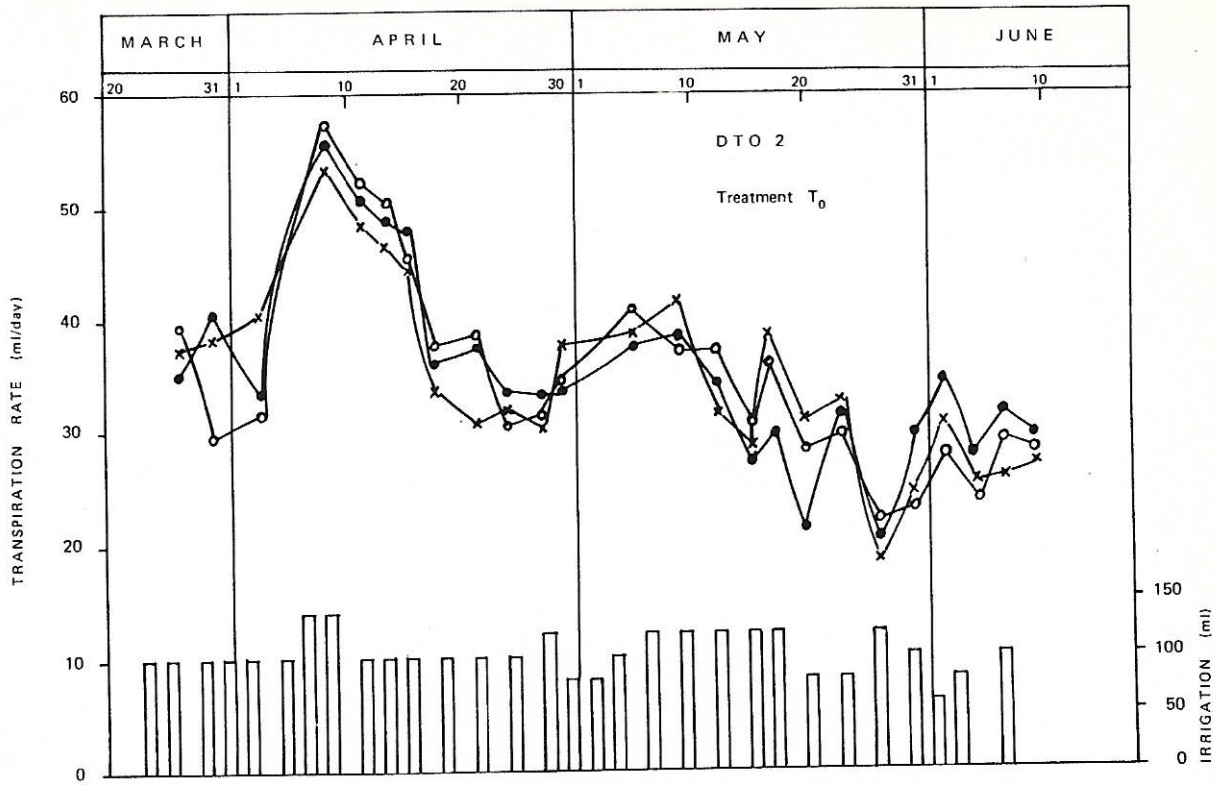


TABLA 5.1: TRANSPIRACION PROMEDIO EN LOS TRATAMIENTOS T₀ (TR₀, EXPRESADO EN ml/día) Y TRATAMIENTOS 1 Y 2 (TR₁ Y TR₂ - EXPRESADOS COMO UNA FRACCION DE TR₀) DURANTE LOS PERIODOS DE SEQUIA Y RECUPERACION. EL SIMBOLO S REPRESENTA LA DESVIACION STANDARD DE LA TRANSPIRACION DE LAS PLANTAS INDIVIDUALES EN CADA TRATAMIENTO

VARIEDAD CLON O FAMILIA	FECHA DE PERIODO	1º PERIODO DE SEQUIA						2º PERIODO DE SEQUIA						2º PERIODO DE RECUPERACION															
		T ₀		T ₁		T ₂		T ₀		T ₁		T ₂		T ₀		T ₁		T ₂											
		TR ₀	S	TR ₁	S	TR ₂	S	DIA	TR ₀	S	TR ₁	S	TR ₂	S	DIA	TR ₀	S	TR ₁	S	TR ₂	S								
S. medians PI 265872	ENE 2	39	2.1	.51	.03	.27	.01	1.0	39	2.1	.51	.24	.25	.13															
S. medians PI 310994		36	4.4	.56	.04	.31	.04	10	30	1.2	.87	.10	.21	.05															
S. medians PI 210045		37	1.2	.49	.05	.28	.02	10	32	1.5	1.0	.06	.49	.19															
S. medians PI 283109		32	0.0	.46	.02	.27	.05	10	34	1.4	.55	.23	.20	.05															
S. STOLONIFERUM PI 199170		45	0.6	.50	.01	.23	.01	10	48	1.0	.94	.05	.98	.03															
S. VERRUCOSUM PI 32036		36	0.6	.51	.02	.29	.01	10	33	1.2	.85	.08	.72	.06															
S. MICRODONTUM PI 208876		41	0.1	.48	.02	.25	.03	10	44	1.4	.83	.12	.67	.06															
S. SPEGAZZINI 1 PI 246856		44	0.5	.52	.03	.26	.04	10	38	1.5	.95	.02	.80	.04															
S. SPARZIPILUM PI 230510		42	1.3	.51	.02	.26	.03	10	42	1.0	.80	.01	.70	.04															
S. SOGARANDINUM PI 230510		43	1.0	.50	.03	.29	.02	10	43	0.6	.84	.03	.54	.12															
DTO 2	MAR 16	20	36	1.5	.50	.02	.28	.03	9	55	1.5	.94	.03	.83	.21	27	35	0.7	.50	.01	.28	.02	10	32	2.5	.86	.39	.93	.05
DTO 38		20	36	1.0	.54	.04	.28	.03	9	51	1.0	.94	.01	.99	.08	27	36	0.7	.51	.01	.26	.02	10	32	2.0	1.23	.05	.67	.48
DTO 33		20	34	1.0	.47	.03	.25	.04	9	51	3.0	.98	.02	1.02	.03	27	36	1.6	.48	.02	.32	.01	10	30	1.5	1.00	.15	1.00	.04
REVOLUCION		20	34	1.0	.62	.05	.37	.09	9	56	1.0	.91	.02	.94	.17	27	36	0.7	.54	.04	.24	.05	10	34	1.2	.98	.06	.71	.22
MARIVA		20	36	2.0	.53	.03	.34	.07	9	55	1.0	.94	.02	.91	.09	27	36	0.7	.52	.01	.31	.03	10	36	4.0	.93	.04	.93	.04
YUNGAY	MAR 3	21	38	1.0	.62	.01	.20	.04	10	36	2.5	.70	.04	.56	.14	16	36	1.0	.47	.03	.29	.04	6	36	1.5	.71	.10	.56	.15
GUZCO		21	37	2.0	.64	.02	.28	.12	10	40	2.1	.94	.13	.76	.12	16	34	2.0	.53	.03	.25	.01	6	36	1.0	.87	.03	.51	.10
T. COND.		21	36	1.5	.62	.02	.33	.03	10	37	3.5	.85	.04	.71	.04	16	34	1.0	.48	.02	.29	.01	6	35	2.0	1.02	.02	.80	.10
PARTICIPACION		21	39	2.1	.63	.04	.28	.06	10	39	4.0	.88	.15	.67	.10	16	36	1.0	.53	.06	.34	.05	6	39	4.6	.56	.20	.41	.09
RANRAHIRCA		21	42	2.0	.59	.06	.42	.05	10	38	3.2	.89	.14	.78	.06	16	35	3.8	.45	.02	.33	.02	6	29	6.7	.84	.10	.50	.07

* PROMEDIO DE 2 EN VEZ DE 3 PLANTAS. PLANTA NO INCLUIDA EN EL PROMEDIO POR MUERTE O ENFERMEDAD POR CAUSAS DIVERSAS A LA FALTA DE HUMEDAD COMO SON ACAROS, DAÑO FISICO Y HONGOS

5.1.1.3. DIFERENCIAS EN EL PERIODO DE RECUPERACION

Se pueden notar grandes variaciones entre genotipos, en TR_1 y TR_2 durante los períodos de recuperación, donde en este caso TR_1 y TR_2 representan la transpiración máxima durante el período de recuperación dividido entre TR_0 en el momento en que este máximo era alcanzado. Como se muestra en las figuras 5.2, 5.3 y 5.4, la transpiración de *S. stoloniferum*, Mariva y DTO 2, en el tratamiento T_2 se acerca al nivel de tratamiento T_0 durante el período de recuperación, mientras que la transpiración de *S. medians* y Ranrahirca permanece sin cambio después del riego de recuperación (ver Fig. 5.1 y 5.4).

Se podría adelantar la hipótesis de que la magnitud de la desviación de TR_1 y TR_2 para el valor de 1.0 refleja el grado de daño en el aparato transpiracional de la planta ocurrido durante el período de sequía. Este daño puede ocurrir en la forma de una disminución de área foliar, cambios en la actividad estomatal y variaciones en los mecanismos de absorción de agua por las raíces.

5.1.2. RESULTADOS Y DISCUSION REFERENTES AL DISEÑO MODIFICADO

5.1.2.1. DIFERENCIAS DE ALTURA ENTRE T_0 Y T_2

Se dan las alturas de las plantas y la transpiración en ml/día para los 14 clones en diferentes fechas, en la Tabla 5.2. Donde la altura relativa es la relación entre el promedio de altura en cm, dividido por el promedio de altura de las tres plantas en el tratamiento óptimo en diciem

bre 12, o una semana después de iniciar el primer período de sequía, muestran amplias diferencias en las alturas iniciales entre clones, mientras que las diferencias entre las plantas del mismo clon son relativamente pequeñas. Los datos de diciembre 23, enero 12 y febrero 1, muestran un efecto creciente de los tratamientos de riego sobre la altura de todos los clones. En febrero 1, las plantas en el tratamiento T_2 , eran entre el 25% (clon 375057-32) y 70% (clones 375080-16 y 375089-31) más pequeñas que en el tratamiento T_0 .

Esta reducción en el grado de desarrollo es el resultado de un bajo potencial de turgencia y consecuentemente disminución en la expansión y división celular (Glas T.K. 1977) bajo condiciones de stress de humedad. Aunque no fue medida el área foliar se observaron visualmente claras diferencias en esta característica entre los tratamientos.

La transpiración es mostrada en la Tabla 5.2., al inicio del primer período de la sequía (Dic. 5-8) y al final de ese período (Ene. 2-5), al final del primer período de recuperación (Ene. 13-15) y durante el segundo período de sequía (Feb. 3-5). Los valores para los períodos diciembre 5-8 y febrero 3-5, son para una sola planta, mientras que los otros valores representan el promedio de tres plantas.

TABLA 5.2 : ALTURA DE PLANTAS (CM) Y TRANSPIRACION (ml/día) DE LOS 14 CLONES EN 3 TRATAMIENTOS DE RIEGO EN DIFERENTES FECHAS EN EL DISEÑO MODIFICADO DE TRANSPIRACION

OBSERVACION	FECHA	CLON	375510	375080	375057	375568	375080	375080	375608	375089	375057	375080	375080	375080	375057	375080	375057	375080	375057	375080	375057	375080	375057	375080	CUR
ALTURA DE PLANTA (cm)	DIC 12	Tr	1	5	9	12	14	16	27	31	32	39	42	43	45	43	45	43	45	43	45	43	45	43	700279
		T ₀	33.7*	31.0	23.0	15.3	25.7	11.0	23.7	11.0	11.0	16.7	27.0	29.7	18.0	15.3	18.0	27.0	29.7	18.0	15.3	18.0	27.0	15.3	25.7
		T ₁	1.10*	0.79	1.17	1.24	0.84	0.88	0.76	0.80	0.85	0.92	1.06	0.91	1.11	0.85	1.06	0.91	1.11	0.85	1.06	0.91	1.11	0.85	1.06
ALTURA	DIC 23	T ₂	0.80*	0.80	0.80	1.27	0.92	0.85	0.80	0.85	1.02	0.75	0.78	1.07	0.75	1.07	0.75	0.78	1.07	0.75	0.78	1.07	0.75	0.78	0.86
		T ₀	1.40*	1.22	1.42	1.65	1.48	1.64	1.59	1.59	1.97	1.38	1.38	1.54	1.57	1.61	1.57	1.38	1.54	1.57	1.61	1.38	1.54	1.61	1.30
		T ₁	1.31*	0.85	1.51	1.63	1.05	1.18	1.19	1.19	1.57	0.88	1.14	1.21	1.52	0.93	1.52	0.93	1.21	1.52	0.93	1.14	1.21	1.52	0.93
ALTURA RELATIVA	ENE 12	T ₂	0.89*	0.83	0.84	1.48	0.94	0.94	0.94	0.94	1.08	0.88	0.95	1.32	0.83	1.32	0.83	0.95	1.32	0.83	0.95	1.32	0.83	0.95	0.98
		T ₀	2.13*	1.55	2.08	2.67	2.01	2.91	2.19	2.19	3.25	1.90	1.96	2.01	2.39	2.57	2.39	1.96	2.01	2.39	1.96	2.01	2.39	2.57	1.74
		T ₁	1.71*	1.07	1.81	2.29	1.37	1.73	1.66	1.66	2.21	1.14	1.37	1.58	1.84	1.42	1.84	1.37	1.58	1.84	1.37	1.58	1.84	1.42	1.45
DE PLANTAS	FEB 1	T ₂	0.95*	0.91	0.92	1.72	1.25	1.15	1.10	1.10	1.24	0.93	1.10	1.49	1.00	1.49	0.93	1.10	1.49	0.93	1.10	1.49	1.00	1.02	1.02
		T ₀	2.55*	1.85	2.67	3.84	2.42	4.56	2.81	2.81	4.09	2.10	2.38	2.45	2.90	3.12	2.90	2.38	2.45	2.90	2.38	2.45	3.12	2.00	2.00
		T ₁	1.95*	1.36	2.20	2.73	1.83	2.27	2.10	2.10	2.88	1.63	1.69	1.93	2.13	1.90	2.13	1.69	1.93	2.13	1.69	1.93	2.13	1.90	1.65
Tr	DIC 5-8	T ₂	1.10*	1.03	1.14	1.99	1.44	1.43	1.22	1.22	1.54	1.08	1.38	1.57	1.16	1.57	1.08	1.38	1.57	1.08	1.38	1.57	1.16	1.14	1.14
		T ₀	23.7	28.1	27.3	26.7	32.3	20.3	25.1	25.1	26.1	21.3	28.0	37.7	25.8	22.0	25.8	28.0	37.7	25.8	28.0	37.7	25.8	22.0	28.9
		T ₁	24.5*	22.2	23.6	19.5	23.5	17.7	18.3	0.43	0.35	0.56	0.34	0.37	0.56	0.39	0.56	0.34	0.37	0.56	0.34	0.37	0.56	0.39	0.44
Tr DUNCAN (.05)	ENE 13-15	T ₂	0.37*	0.28	0.41	0.59	0.40	0.41	0.19	0.19	0.15	0.27	0.17	0.23	0.13	0.23	0.17	0.23	0.17	0.23	0.17	0.23	0.13	0.26	0.26
		T ₀	0.09*	0.05	0.19	0.20	0.24	0.22	0.19	0.19	0.19	0.15	0.27	0.17	0.23	0.13	0.23	0.17	0.23	0.17	0.23	0.13	0.26	0.26	0.26
		T ₁	31.5*	32.0	28.9	26.3	28.8	27.4	26.8	26.8	28.3	26.8	33.4	32.0	28.0	28.4	32.0	33.4	32.0	28.0	28.4	33.4	32.0	28.4	32.4
Tr DUNCAN (.05)	ENE 13-15	T ₂	28.6*	27.0	29.7	23.0	26.4	23.4	24.3	24.2	23.9	29.2	28.0	24.4	24.1	28.0	29.2	28.0	24.4	24.1	28.0	29.2	28.0	24.1	30.9
		T ₀	24.2*	24.7	24.6	20.6	26.3	22.1	21.1	21.1	18.9	23.8	23.1	23.9	20.6	18.8	23.9	23.1	23.9	20.6	18.8	23.1	23.9	20.6	21.3
		T ₁	24.2*	24.7	24.6	20.6	26.3	22.1	21.1	21.1	18.9	23.8	23.1	23.9	20.6	18.8	23.9	23.1	23.9	20.6	18.8	23.1	23.9	20.6	21.3
Tr	ENE 13-15	T ₂	7.3 †	7.3 †	4.4	5.7	2.5	5.3	5.7	9.4 †	3.0	10.3 †	8.1 †	7.4 †	9.6 †	8.1 †	10.3 †	8.1 †	7.4 †	9.6 †	8.1 †	10.3 †	8.1 †	10.6 †	10.6 †
		T ₀	31.9	38.3	31.5	35.7	28.7	32.6	26.3	26.3	29.4	33.1	24.9	37.7	27.2	32.0	37.7	24.9	37.7	27.2	32.0	37.7	27.2	32.0	34.1
		T ₁	31.9	38.3	31.5	35.7	28.7	32.6	26.3	26.3	29.4	33.1	24.9	37.7	27.2	32.0	37.7	24.9	37.7	27.2	32.0	37.7	27.2	32.0	34.1

* PROMEDIO DE TRES REPETICIONES

- SIGNIFICANCIA AL NIVEL .05 USANDO LA PRUEBA DE DUNCAN
+ SIGNIFICANCIA AL NIVEL .05 USANDO LA PRUEBA DE DLS

5.1.2.2. VARIACIONES EN AREA FOLIAR

El promedio de transpiración inicial en el tratamiento T_0 varía desde 20 ml/día (clon 375080-16) a 38 ml/día (clon 375080-42). Una de las razones para esta variación es la diferencia entre los clones, del área foliar que participa en el proceso transpiracional.

5.1.2.3. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS

Los efectos de la humedad disponible sobre la transpiración es ilustrada por los datos del período de febrero 2-5. La transpiración se redujo entre 40 y 60% en los tratamientos T_1 y entre el 75 y 85% en T_2 . Al momento de estas determinaciones las plantas habían estado expuestas a los diferentes tratamientos por un mes.

5.1.2.4. DIFERENCIAS EN EL PRIMER PERIODO DE RECUPERACION

Existe una notable recuperación en la transpiración como se muestra en los datos de enero 13-15. La transpiración en el tratamiento T_1 es al rededor de sólo el 10% más baja que en T_0 , mientras que en T_2 la transpiración relativa varía desde 0.66 (clon 375057-45) a 0.91 (clon 375080-14).

Los resultados del Análisis de Variancia de la transpiración al final del primer período de recuperación se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3.

Resultados del Análisis de Variancia de la Transpiración (ml/día) para las catorce familias, al final del primer período de recuperación Enero 13-15

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	5.43	Menor que 1
Tratamientos de Riego (T)	2	507.94	21.39**
Error (t)	4	23.57 E _t	
Variedades (V)	13	39.31	5.24**
Interacción (V x T)	26	7.47	Menor que 1
Error (v)	78	7.50 E _v	

CV(t) = 18.7%

CV(v) = 10.6%

Los efectos entre tratamientos de riego y entre variedades tienen significancia estadística al nivel de .01, como lo muestra la Tabla 5.3. Esta prueba es altamente significativa. Para investigar si existía significancias entre variedades o establecer cuáles de ellas eran significativas y qué tratamientos lo eran, se usó la Prueba de Duncan (Nueva Prueba de Amplitudes Múltiples de Duncan).

5.1.2.5. SIGNIFICANCIA DE DOS VARIEDADES EN EL MISMO TRATAMIENTO

El error standard para una comparación de la transpiración de dos clones distintos en un mismo tratamiento, usando la Prueba de Duncan, es igual a $\sqrt{E_t/3}$ ó 1.58. Los resultados obtenidos con el Test de Duncan

se indican en la Tabla 5.2., por las letras debajo de los promedios (letras iguales debajo de los promedios indican que no existen significancias estadísticas). Como puede esperarse, sobre la base de la no significancia de los efectos de interacción, los comportamientos son similares en los tres tratamientos de riego. Como se indicó antes, las diferencias en la transpiración entre variedades en el tratamiento T_0 se deben, probablemente, a las correspondientes diferencias de área foliar.

5.1.2.6. SIGNIFICANCIAS EN DIFERENTES TRATAMIENTOS

Para la comparación de la transpiración de la misma variedad en dos diferentes tratamientos, el error standard está dado por:

$\sqrt{[(t - 1) \times E_v + E_t]/rt}$ ó 2.07 y resulta un valor de ALS (D) Amplitud Límite de Significación de Duncan, al nivel .05 de 2.07×2.97 (para $p = 3$ y $GL = 80$) ó 6.16. Comparando este valor con la diferencia en la transpiración entre los tratamientos T_0 y T_2 se ve que la reducción en la transpiración es significativa para ocho variedades, como se indica en la penúltima línea de la Tabla 5.2.

El valor de t que es usado en la Prueba de la Diferencia Límite de Significación (DLS), para la comparación de la transpiración de dos mismas variedades en dos tratamientos diferentes no sigue, en este caso, la distribución teórica de t de Student, sino que debe ser calculado un t' (Calzada Benza, 1970, pág. 480) que resulta en 2.47 y para el valor del error standard se usa la expresión $\sqrt{2 [(t - 1) \times E_v + E_t] / rt}$ que da 2.93 y entonces DLS al nivel .05 es igual a 7.24. Usando este valor, la diferencia en la transpiración entre los tratamientos T_0 y T_2 es signifi-

TABLA 5.4: TRANSPIRACION (ml/día) DE LAS 14 VARIETADES EN LOS 3 TRATAMIENTOS DE RIEGO EN DOS FECHAS DIFERENTES DEL 2º PERIODO DE RECUPERACION

OBSERVACION	FECHA	CLON TRAT.	1	5	9	12	14	16	27	31	32	39	42	43	45	79
Tr DUNCAN(.05)	FEB 16-19	T ₀	27.13 [*] abc	29.87 abc	33.97 ab	32.60 ab	32.60 ab	27.07 abc	22.17 c	26.50 bc	29.80 abc	34.53 a	33.27 ab	26.10 bc	27.93 abc	28.70 abc
Tr DUNCAN(.05)	FEB 16-19	T ₁	23.00 a	28.47 a	26.10 a	22.93 a	25.10 a	21.97 a	23.37 a	21.20 a	24.33 a	28.53 a	27.03 a	22.40 a	21.40 a	23.20 a
Tr DUNCAN(.05)	FEB 16-19	T ₂	18.47 a	20.87 a	21.93 a	17.43 a	20.60 a	19.13 a	16.97 a	17.23 a	19.37 a	20.90 a	21.83 a	19.70 a	17.10 a	15.83 a
Tr DUNCAN(.05)	FEB 16-19	T ₀ -T ₂	8.66 ‡	9.00 ‡	12.04 ‡	15.17 ‡	12.00 ‡	7.94 ‡	5.20 ‡	9.27 ‡	10.43 ‡	13.63 ‡	11.44 ‡	6.40 ‡	10.83 ‡	12.87 ‡
Tr DUNCAN(.05)	FEB 21-23	T ₀	42.90 a	35.30 abc	41.27 ab	31.20 abcd	39.77 abc	28.63 bcd	21.63 d	27.93 cd	28.97 bcd	39.30 abc	40.20 abc	30.40 abcd	29.80 abcd	30.63 abcd
Tr DUNCAN(.05)	FEB 21-23	T ₁	23.50 abc	35.80 a	33.23 abc	26.43 abc	30.63 abc	23.20 abc	25.47 abc	23.10 abc	21.10 c	34.50 ab	36.17 a	22.33 bc	20.30 c	28.83 abc
Tr DUNCAN(.05)	FEB 21-23	T ₂	19.57 ab	25.37 a	19.13 ab	14.30 ab	23.63 ab	15.43 ab	16.30 ab	10.80 b	19.07 ab	17.40 ab	19.83 ab	9.93 ab	18.30 ab	11.17 b
Tr DUNCAN(.05)	FEB 21-23	T ₀ -T ₂	23.33 ‡	9.93 ‡	22.14 ‡	16.90 ‡	16.14 ‡	13.20 ‡	5.37 ‡	17.13 ‡	9.90 ‡	21.90 ‡	20.37 ‡	10.47 ‡	11.50 ‡	19.46 ‡

* PROMEDIO DE 3 REPETICIONES

- SIGNIFICANCIA (0.05 nivel) DE DLS

+ SIGNIFICANCIA (0.05 nivel) DE DUNCAN

cativa para las mismas ocho variedades (ver la penúltima línea de la Tabla 5.2.).

Los datos de la Tabla 5.2, muestran que existen diferencias en la reacción al stress de humedad, entre variedades cuando esta reacción es expresada en términos de una diferencia en la transpiración entre plantas óptimamente regadas y plantas que se habían recuperado de un período de sequía.

5.1.2.7. SEGUNDO PERIODO DE RECUPERACION

En la Tabla 5.4., se dan valores de transpiración para las 14 variedades para febrero 16-19 y febrero 21-23. Las diferencias de transpiración entre los tratamientos son más acentuadas en estas fechas posteriores. Aún tratándose de un período de recuperación. Para febrero 21-23 la transpiración en T_1 es alrededor del 20% más baja que en T_2 . En T_2 la transpiración relativa varía desde 0.45 (clon 375540-1) hasta 0.75 (clon 375608-27).

Los resultados del Análisis de Variancia de febrero 16-19 durante el segundo período de recuperación y el Análisis de Variancia al finalizar este período en febrero 21-23, se muestran en las Tablas 5.5 y 5.6.

Tabla 5.5.

Análisis de Variancia de la transpiración durante el segundo período de recuperación - Febrero 16-19

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques (r)	2	8.11	1
Tratamiento de riego (T)	2	1124.31	66.76**
Error (t)	4	16.84	
Variedades (V)	13	50.97	2.95**
Interacción (V x T)	26	8.84	1
Error (v)	78	17.25	

CV(t) = 16.92% CV(v) = 17.13%

** significancia al nivel 0.01

Tabla 5.6.

Resultados del Análisis de Variancia de la transpiración al final del segundo período de recuperación - Febrero 21-23

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	176.08	1.25
Tratamientos de riego	2	2586.15	18.29**
Error (t)	4	141.37	
Variedades	13	175.55	3.79**
Interacción	26	45.80	1
Error (v)	78	46.37	

CV(t) = 45% CV(v) = 26%

Como se muestra en la Tabla 5.4., las diferencias entre variedades en un mismo tratamiento, para febrero 16-19, no muestran ninguna significancia para los tratamientos de stress T_1 y T_2 . Para la comparación de una misma variedad en dos tratamientos diferentes T_0 y T_2 con las Pruebas de Duncan y de DLS, los valores mostrados precisan un aumento en la significancia entre tratamientos, doce de las catorce variedades tienen diferencias significativas. Los análisis de febrero 21-23, permitirían sacar conclusiones más firmes sobre los resultados arriba mostrados.

En febrero 21-23 al finalizar el período de recuperación, el comportamiento de las variedades en el mismo tratamiento arrojaba alguna significancia, siendo la transpiración en T_0 la que más significancia mostró, probablemente debido a las diferencias iniciales de área foliar. Las diferencias entre tratamientos para una misma variedad establecen claras significancias para cinco clones (375540-1, 375098-31, 375057-39, 375080-42, CUR-700279) a lo largo del experimento. Sin embargo, la variabilidad fue mayor como lo muestra el CV_t de la Tabla 5.6., debido probablemente al riego y a las pesadas de esas fechas.

Las Tablas 5.5 y 5.6 no muestran tampoco, igual que la Tabla 5.3, diferencias significativas en los efectos de interacción entre tratamientos y variedades que hubieran permitido arrojar más luz sobre los análisis realizados.

5.2. EXPERIMENTOS DE COMPACTACION

5.2.1. RESULTADOS Y DISCUSION REFERENTES AL DISEÑO PRELIMINAR

El 20 de octubre emergieron 67% de un máximo de 360 semillas, 10 días más tarde este valor se incrementó en un 96%.

El resultado del Análisis de Variancia de los datos obtenidos del conteo de raíces por planta en cada cilindro, son presentados en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7.

Análisis de Variancia del número de raíces contadas en Noviembre 8

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	3.27	2.11
Densidad (A)	2	10.29	6.64**
Profundidad (B)	1	0.84	1
Familia (C)	4	1.41	1
A x B	2	0.48	1
A x C	8	2.01	1.30
B x C	4	1.44	1
A x B x C	8	1.08	1
Error	58	1.55	
Total	89		

$$C.V. = \left(\sqrt{1.55/225.9/90} \right) \times 100 = 49.4\%$$

5.2.1.1. SIGNIFICANCIA EN LA DENSIDAD DEL SUELO

El resultado muestra que de los tres efectos principales sólo el de densidad aparente del suelo es muy significativo (al nivel de .01) pero que ninguna de las interacciones es significativa. El bajo valor del cuadrado medio para las profundidades indica que no existen diferencias entre el número de raíces por planta que pasaron la capa de 2.5 y 5.0 cm de espesor. Una posible aclaración de estos resultados es que la diferencia de 2.5 cm en espesor de capa es demasiado pequeña para ser detectada.

5.2.1.2. ALTA VARIABILIDAD EN EL DISEÑO PRELIMINAR - POSIBLES CAUSAS

El alto valor del CV es causado probablemente por una combinación de varios factores, además de una variabilidad inherente entre plantas de la misma familia*, desuniformidad en densidad aparente para ambas profundidades entre unidades experimentales y entre unidades bajo el mismo tratamiento, cambios de densidad en el transcurso del experimento durante la observación de las raíces, diferencias en el número de raíces que crecieron atravesando grietas y a lo largo de la pared del envase, etc.

Además, una raíz puede ramificarse justo antes de alcanzar el fondo de la capa de suelo y ser contada como dos o más raíces diferentes, mientras que raíces diferentes que tienen ramificación a una profundidad a es casos centímetros debajo del fondo de la capa es contada como una raíz particular.

* La semilla botánica por ser un producto de polinización cruzada, presenta amplia variabilidad genética y, por ende, diversidad fenotípica.

5.2.1.3. INTERPRETACION DE LOS NUEVOS RESULTADOS

La Tabla 5.8., muestra los resultados del Análisis de Variancia de las raíces contadas el 13 de noviembre. Como en noviembre 8, el efecto de la densidad es muy significativo (al nivel .01) y el valor de F_c para el efecto de la profundidad es nuevamente muy pequeño.

Tabla 5.8.

Análisis de Variancia del número de raíces contadas el 13 de noviembre

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	10.78	1.8
Densidad (A)	2	50.38	8.4**
Profundidad (B)	1	0.41	1
Familia (C)	4	6.64	1.11
A x B	2	38.46	6.41**
A x C	8	18.43	3.07**
B x C	4	23.32	3.89**
A x B x C	8	19.79	3.30**
Error	58	6.00	
Total	89		

$$C.V. = \left(\sqrt{6.00} / 591.3/90 \right) \times 100 = 37.3\%$$

La interpretación de los resultados es complicada por el hecho de que todas las posibles interacciones fueron encontradas muy significativas. Además, el examen de los efectos simples de B en los diversos niveles de A mostraron que las diferencias en número de raíces por planta que

pasaron los 2.5 y 5.0 cm de estrato, promediando para las cinco familias fueron muy significativas para una densidad de 1.2 gr/cc (al nivel 0.01), pero no para las otras densidades. Además, el efecto principal de C (familia) no fue significativo. En comparación del efecto simple de a_1 (1.2 gr/cc) y a_3 (1.6 gr/cc) para las diferentes familias, promediando sobre las profundidades, mostraron una alta significancia (nivel .01) en la reducción del número de raíces de la familia Ccompis por Revolución en el tratamiento de 1.6 gr/cc de densidad aparente en comparación al control (1.2 gr/cc), para las otras familias las reducciones no fueron significativas.

El efecto de B (profundidad), promediando sobre los tres niveles de densidad, fue examinado para las cinco familias. El número de raíces de Ccompis por Revolución que pasaron los 5 cm de capa fue significativamente más pequeño (nivel .01) que el número de raíces que pasó los 2.5 cm de capa, mientras que para Ccompis por Merpata, el número de raíces que pasaron los 5 cm de capa fue grande (nivel .05). Este último resultado no puede ser adecuadamente explicado. Para las otras tres familias el efecto de espesor de capa fue insignificante.

No se intentó explicar la interacción de los tres factores. La amplia diferencia entre algunas repeticiones del mismo tratamiento, son reflejadas en el alto coeficiente de variabilidad.

5.2.2. RESULTADOS Y DISCUSION REFERENTES AL DISEÑO MODIFICADO

Se realizaron conteos de raíces a partir de febrero 19 hasta marzo 24 con una regularidad de, aproximadamente, tres días.

Presentamos en este trabajo los análisis estadísticos que arrojaron datos más significativos, de modo que la discusión resulte adecuada. Estos análisis corresponden a los días 6, 12 y 21 de marzo.

Tabla 5.9.

Análisis de Variancia del número de raíces contadas el 6 de marzo

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	2.85	1.87
Densidad (A)	2	99.12	25.74**
Profundidad (b)	1	9.98	6.56*
Familia (C)	4	12.06	7.93**
A x B	2	0.97	0.64
A x C	8	5.38	3.53**
B x C	4	3.35	2.20
A x B x C	8	1.02	0.67
Error	58	1.52	
Total	89		

$$C.V. = (\sqrt{1.52} / 138.52 / 90) \times 100 = 79.9\%$$

5.2.2.1. NUEVA SIGNIFICANCIA ESTADISTICA DEL FACTOR DENSIDAD DEL SUELO

La densidad aparente y las familias muestran resultados altamente significativos, tanto en sus efectos principales como en el efecto de interacción entre estos dos factores, por lo cual se pasaron a analizar los efectos simples. La comparación del efecto simple en a_1 (1.2 gr/cc), a_2 (1.5 gr/cc) y a_3 (1.8 gr/cc) para las diferentes familias, promediando so

bre las dos profundidades, mostraron una alta significancia al nivel .01, para Ccompis por Mariva y Ccompis por Revolución. Los efectos simples en las familias en los distintos niveles de A (a_1 , a_2 y a_3) mostraron alta significancia al nivel de 1.2 y 1.5 gr/cc, la diferencia en reducción de raíces en a_3 (1.8 gr/cc) no es significativo.

El análisis de los efectos simples-simples de C (familia) en los distintos niveles de A y B, esto es, a_1b_1 , equivalente a 1.2 gr/cc y 4 cm., a_1b_2 ó 1.2 gr/cc y 8 cm y a_2b_1 , a_2b_2 , a_3b_1 y finalmente a_3b_2 , mostró altas significancias para los niveles (1.2 gr/cc y 4 cm) a_1b_1 y (1.5 gr/cc y 4 cm) a_2b_1 .

El coeficiente de variabilidad resultó demasiado alto, aproximadamente 80% para un error experimental de 1.52. No se planearon investigaciones posteriores, en la posibilidad de encontrar una variabilidad tan grande, por lo que los resultados obtenidos están afectados por las razones antes planteadas, dejando al margen la flexibilidad de los envases.

De igual modo se analizaron los resultados del Análisis de Variancia del día 12 de marzo.

Tabla 5.10.

Análisis de Variancia del número de raíces contadas el día 12 de marzo

<u>Fuentes de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	24.58	4.79*
Densidad (A)	2	144.33	28.13**
Profundidad	1	10.53	2.05
Familia (C)	4	36.49	7.11**
A x B	2	1.39	0.27
A x C	8	17.58	3.43**
B x C	4	4.26	0.83
A x B x C	8	2.12	0.41
Error	58	5.13	
Total	79		

$$C.V. = (\sqrt{5.13} / 284.73 / 90) \times 100 = 71.5\%$$

Las significancias estadísticas son, prácticamente, similares a los resultados de la Tabla 5.9. Por esto, se pasó a analizar los efectos sim ples de A en los distintos niveles de C, encontrándose nuevamente, significancias (nivel .01) para las familias Ccompis por Mariva y Ccompis por Revolución en a_1 (1.2 gr/cc) y a_2 (1.5 gr/cc). A esta fecha, el paso de las raíces en a_3 no es significativo. Los efectos simples-simples permi ten precisar las significancias de C en la combinación de A y de B aunque arrojan una variación respecto de los efectos estudiados en la Tabla 5.9. La reducción de las raíces de Ccompis por Mariva y Ccompis por Revolución

muestran significancia (al nivel .01)* para a_1b_1 y para a_2b_2 (1.5 gr/cc y 8 cm).

La Tabla 5.11., muestra los resultados de ANAVA para marzo 21. Como puede apreciarse, la interacción entre densidades y familias de papa es insignificante, aunque los efectos principales de estos dos factores continúan siendo altamente significativos.

Tabla 5.11.

Análisis de Variancia del número de raíces contadas el día 21 de marzo

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F_c</u>
Bloques	2	62.77	5.95**
Densidad (A)	2	529.42	50.16**
Profundidad (B)	1	7.48	0.71
Familia (C)	4	113.85	10.79**
A x B	2	25.52	2.41
A x C	8	17.66	1.67
B x C	4	18.10	1.71
A x B x C	8	9.83	0.93
Error	58	10.55	
Total	79		

$$C.V. = \left(\frac{\sqrt{10.55}}{657.95 / 90} \right) \times 100 = 49.4\%$$

* Todas las pruebas de los efectos simples se han efectuado solamente al nivel de .01 para sacar conclusiones siguiendo recomendaciones de Calza da Benza, "Métodos Estadísticos para la investigación" (1964).

5.2.2.2. USO DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE STUDENT-NEWMAN-KEUL

Basados en los resultados de la Tabla 5.11., se usó la prueba de significancia de Student-Newman-Keul, que es más exigente que la prueba de Duncan, para comparar los comportamientos de cada familia de papa en el mismo tratamiento, considerando un tratamiento ($a_i \times b_i$), esto es, seis tratamientos.

Las diferencias que arroja la Prueba de SNK para los tratamientos, indican que a_1b_1 (1.2 gr/cc y 4 cm) y a_2b_2 (1.5 gr/cc y 8 cm) son nuevamente significativos. Es probable que la variación de las raíces pasadas por planta, de 3 raíces/planta (fam. 20) a 18 raíces/planta (fam. Ccompis por Revolución) se deba a las diferencias en la altura de las plántulas al iniciar el experimento.

En la Tabla 5.12., se muestran los resultados de la Prueba de Student-Newman-Keul. Solamente se consignan allí los tratamientos con resultados significativos. Los otros restantes muestran diferencias no significativas en los distintos niveles de C.

Se efectuó la comparación individual de las variedades en los diferentes tratamientos de densidad y profundidad de capa. En la Tabla 5.13, se muestra que Cc. por Mariva y Cc. por Revolución tienen un rango más amplio de significancia a través de los tratamientos.

La carencia de significancia en los efectos de interacción del ANAVA, dificultan información extra sobre la utilidad de los diseños experimentales.

Tabla 5.12.

Raíces pasadas por planta para las cinco familias en los diferentes tratamientos de densidad y profundidad para el día 21 de marzo

Tratamientos	FAMILIA				
	4	20	31	Cc. x Mar.	Cc. x Rev.
$a_1 = 1.2 \text{ gr/cc}$	9.67*	3.46	7.35	12.30	18.46
$b_1 = 4 \text{ cm}$	wz	z	wz	w	x
$a_2 = 1.5 \text{ gr/cc}$	9.37*	8.53	5.83	16.2	11.33
$b_2 = 8 \text{ cm}$	w	w	w	x	xw

Significancia al nivel .05

Promedios encima de las mismas letras, son no significativos.

* Promedio de tres repeticiones.

Tabla 5.13.

Análisis de los promedios en las mismas familias en distintos tratamientos - Prueba de Student-Newman-Keul

Variedad	TRATAMIENTO					
	$a_1 = 1.2$ $b_1 = 4.0$	$a_1 = 1.2$ $b_2 = 8.0$	$a_2 = 1.5$ $b_1 = 9.0$	$a_2 = 1.5$ $b_2 = 8.0$	$a_3 = 1.8$ $b_1 = 4.0$	$a_3 = 1.8$ $b_2 = 8.0$
Familia 40	9.67 * x	9.00 x	7.13 xw	9.37 x	4.23 xw	1.08 w
Familia 20	3.46 xw	8.27 x	5.53 xw	8.53 x	2.13 xw	0.53 w
Familia 31	7.53 xw	7.10 xw	9.00 x	5.83 xw	1.23 w	0.37 w
Cc. x Mariva	12.30 x	12.33 xw	10.80 x	11.33 x	5.63 xz	1.38 z
Cc. x Revol.	18.46 x	12.33 w	10.80 w	11.33 w	5.63 wz	1.38 wz

Nivel de 0.05

* Promedio de tres repeticiones.

5.3. EXPERIMENTOS DE SUPERVIVENCIA DE PLANTAS

5.3.1. RESULTADOS Y DISCUSION REFERENTES AL DISEÑO PRELIMINAR

Se encuentran diferencias muy significativas entre el testigo y las plantas sometidas a sequía, en muchas de las características incluidas en la escala de observación visual. El primer síntoma de stress en ser notado era un cambio en color de hoja, primero a un verde oscuro y luego, en un estado más avanzado de stress, a un verde claro aproximándose al amarillo. Un segundo indicador del stress era un aumento del ángulo de la hoja con respecto al tallo.

Enrollamiento de la hoja, necrosis, marchitez y una total disminu-
ción en el crecimiento de la planta se van acentuando con una más prolon-
gada exposición a la sequía, llegando eventualmente a la muerte de las ho
jas individuales. La muerte de las hojas y la disminución en el creci-
miento, resultan en una drástica reducción del área foliar. Esta reduc-
ción en el área foliar es un buen mecanismo para escapar de la sequía,
aunque impide la recuperación de un aceptable nivel de fotosíntesis des-
pués de que la sequía ha pasado.

La diferencia en síntomas de stress entre familia eran pequeñas y di
fíciles de detectar sistemáticamente usando una escala visual subjetiva.

La Tabla 5.14., indica fechas de riego, cantidad de agua aplicada y
el número de plantas supervivientes después de cada período de sequía.

Tabla 5.14.

Cantidades de agua aplicada y número de plantas supervivientes a los períodos de sequía

<u>Días después de la siembra</u>	<u>Riego aplicado por bandeja en los tratamientos de sequía</u>	<u>Plantas sobrevivientes</u>				
		<u>Ma.</u>	<u>Me.</u>	<u>Ran.</u>	<u>Rev.</u>	<u>Ren.</u>
23	500					
26	500					
29	500					
41	500					
42		45	45	45	45	45
48	500					
49		45	45	45	45	45
55	1250					
57		45	45	45	45	45
69	1500					
73		40	45	35	38	33
85	750					
87		39	43	19	36	26
102	2500					
109		2	13	4	4	4
117		0	2	3	1	3

Como se muestra en la Tabla 5.14., todas las plantas sobrevivieron a los tres primeros períodos de sequía, aunque la altura de las plantas fue reducida significativamente en comparación con las plantas testigo. Usando como criterio, los síntomas mostrados después de un severo déficit de

agua, se regaba, anticipando que, al menos, cierto porcentaje de plantas estaba muriendo, pero la recuperación después del riego en los períodos iniciales de stress era notable. En suma, el primer período fue corto y debía ser extendido, para prevenir una innecesaria prolongación del experimento.

La supervivencia de plantas era muy baja debido al extremo déficit de agua en los tres últimos períodos de sequía y la diferencia entre familias era pequeña.

5.3.2. RESULTADOS Y DISCUSION REFERENTES AL DISEÑO MODIFICADO

Los Análisis de Variancia realizados para el primer y segundo período de sequía sólo arrojan datos de significancia al nivel .05 para las variedades estudiadas y no para los tratamientos de sequía estudiados, T_0 como testigo y, T_2 y T_3 , con diferentes cantidades suministradas para simular diferencias en período de sequía (T_2 mayor que T_3).

Las diferencias en el segundo período de sequía son pequeñas y más en el tratamiento más severo. No se puede desprender ninguna inferencia notable entre las variedades estudiadas para ambos tratamientos.

Tabla 5.15.

Número de plantas muertas en los dos periodos de sequía

Tratamiento	PRIMER PERIODO DE SEQUIA					SEGUNDO PERIODO DE SEQUIA				
	Familia					Familia				
	4	20	31	C x Ma	C x Re	4	20	31	C x Me	C x Re
T ₂	2.00 *	2.67	1.00	0.33	2.66	2.67	5.67	2.67	3.33	5.67
	ab	a	ab	b	a	b	a	b	ab	a
T ₃	2.67	5.00	3.00	1.00	3.33	5.67	5.33	3.00	4.33	5.00
	bc	a	abc	c	ab	a	a	a	a	a

* Promedio de tres repeticiones.

Nivel .05 - Prueba de Duncan.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1. EXPERIMENTOS DE TRANSPIRACION

6.1.1. SOBRE LOS DISEÑOS PRELIMINARES

La capacidad de la planta para retornar al promedio de transpiración TR_0 (en el tratamiento de riego aproximado a la c.c.) después de la exposición a un período de sequía, puede servir como un indicador usado para la tolerancia y/o el escape a la sequía, ya que el grado de transpiración es un reflejo confiable de la reacción de toda la planta a la escasez de humedad.

La gran ventaja de este método es la forma simple en que la transpiración puede ser determinada si se compara con las mediciones de otras características como área foliar, resistencia de la hoja a la difusión del vapor de agua, o al funcionamiento de las raíces.

Las desventajas están en la gran cantidad de labor que requiere el procedimiento de pesadas, alta probabilidad de introducir errores, dificultad para aumentar la extensión del material muestreado y el daño físico que puede ocurrir a las plantas durante la operación de la pesada de las macetas.

En resumen, se puede ver que las diferencias encontradas durante el período de recuperación en TR_1 , de un modo más amplio, en TR_2 muestran que el método discutido en 5.1.1., puede servir como un método relativamente rápido, fácil y barato para la selección de material en un estado inicial de desarrollo de la planta.

Algunos de los factores del método requieren estudios adicionales: duración adecuada de los períodos de sequía y de recuperación, edad de las plantas al iniciar el experimento, dimensiones de las macetas, etc.

Sólo las evaluaciones en el campo, de los resultados obtenidos en el test, permitirían su uso de un modo confiable.

6.1.2. SOBRE EL DISEÑO MODIFICADO

El procedimiento empleado en este experimento permite un gran ahorro en tiempo y en labor, así como la disminución del daño de las plantas debido al frecuente manejo realizado en el experimento descrito en 4.1.1. Al mismo tiempo no se pierde información, como podría esperarse debido a la minimización de la operación de pesada de las macetas.

Este método es más simple y permite un análisis rápido sobre un posible material resistente a la sequía.

6.2. EXPERIMENTOS DE COMPACTACION

6.2.1. SOBRE EL DISEÑO PRELIMINAR

El estudio preliminar arroja significancias en los efectos de interacción de los tratamientos sobre el material en estudio, aunque con una variabilidad muy alta debido a las causas apuntadas en 5.2.1., lo que justifica un estudio adicional con un esfuerzo a reducir el error experimental y aumentar la confiabilidad de los resultados.

6.2.2. SOBRE EL DISEÑO MODIFICADO

El grado de dificultad encontrado por las raíces para atravesar una capa compactada de suelo, en un buen índice que puede ser usado para seleccionar material resistente a sequía.

Los resultados obtenidos, con respecto al experimento discutido en 5.2.2., permiten fundamentar que los ajustes son suficientes y permiten un estudio más sistemático de la influencia de los factores A y B sobre el comportamiento de las raíces.

Son necesarios estudios adicionales para establecer un rango apropiado de densidades y alturas de capa compactada. Los niveles a_3b_1 y a_3b_2 no arrojan ningún dato significativo y la reducción de raíces es muy drástica en estos niveles. En cambio, se puede definir relativamente que, a_2 (1.5 gr/cc) podría ser una densidad de criba o de "umbral" de selección para plantíos de papa, con mecanismos probables de escape a la sequía.

El procedimiento desarrollado es laborioso y lento e introduce errores a lo largo del experimento, tanto en el modo mecánico de contar las raíces como en el manipuleo que sufren las plantas al momento de la operación de contaje de las raíces. No parece fácil disminuir la carga de labor ni las posibilidades de disminuir el error experimental a niveles que permitan resultados más confiables. Los Análisis de Variancia realizados muestran CV que van desde 90% a 44% para los días 2 y 21 de marzo respectivamente.

6.3. SOBRE LOS EXPERIMENTOS DE SUPERVIVENCIA DE PLANTAS

Los resultados mostrados en el diseño preliminar y en el modificado, no permiten establecer diferencias significativas entre las variedades. No es posible sacar, para estos estudios, conclusiones sobre los efectos de los tratamientos sobre las variedades estudiadas. La supervivencia de las pocas plantas puede tener muchas explicaciones. Glas (1979), indica que puede ser debido a ciertos caracteres genéticos. También indica que este tipo de estudio permite la selección de muchas variedades al mismo tiempo, sea en el invernadero o en el campo, pero no parece adecuado para el estudio de unas pocas variedades como es el caso de esta investigación.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

1) Respecto a los experimentos de transpiración se ve que es más fácil su determinación comparados con las mediciones de área foliar, resistencia a la difusión, funcionamiento de las raíces, etc. Por lo tanto, se recomienda realizar experimentos de campo con los resultados de los experimentos modificados de transpiración y observar el comportamiento de las variedades, de forma que una coincidencia del comportamiento de las variedades estudiadas permita el uso, a modo de prueba, de los experimentos de transpiración en invernaderos para la selección de variedades con características deseables de resistencia a la sequía.

2) Es necesario estudiar la no interacción de las variedades con los tratamientos de riego. El comportamiento de las plantas respecto a los tres tratamientos de riego son similares, la transpiración decrece en la medida en que se disminuye el volumen de riego. Probablemente el tratamiento T_1 (50% de T_0) deba ser cambiado por uno que permita responder a la pregunta: Cuál es el mínimo volumen de riego que no altera la transpiración de la planta? Se hace preciso ajustar el valor de T_1 a uno más cercano a T_0 , con la posibilidad de encontrar diferencias significativas en el comportamiento de las plantas ante ese nuevo tratamiento que arroje bases para una nueva discusión. El mismo planteamiento se podría hacer con T_2 , reduciendo drásticamente el volumen de riego, la transpiración de las plantas puede presentar diferencias entre las variedades estudiadas,

permitiendo encontrar efectos de interacción significativos para T_2 en las variedades probadas. Todo esto, para hacer más rígido el diseño experimental y obtener una mayor confiabilidad en su uso.

3) Introduciendo los cambios señalados en el punto anterior, es necesario replantear el período de sequía y también el de recuperación. Esto, probablemente disminuiría el período de simulación de sequía.

4) Respecto a los experimentos de compactación, son demasiado laboriosos. Lo que quedaría por determinar o comprobar a posteriori sería la efectividad de la densidad hallada de 1.5 gr/cc en suelos francos como una posible prueba que permitiría la decisión sobre una variedad resistente o no a la sequía. Aunque se hace necesario controlar la excesiva variabilidad con un más cuidadoso manejo de las macetas. Sí parece adecuado continuar con los mismos materiales usados en el diseño modificado de compactación. El uso de una sola densidad y no tres, ya facilita reducir la variabilidad del experimento y permite la prueba de un mayor número de variedades.

5) No recomendamos que se siga con los experimentos de supervivencia en invernadero usados en este estudio, a no ser que se cuente con aparatos de control de humedad y temperatura, tal como en los experimentos descritos por el Dr. Wilson (cfr. Glas 1977 - CIP Interim Report, DROUGHT TOLERANCE PROJECT).

permitiendo encontrar efectos de interacción significativos para T_2 en las variedades probadas. Todo esto, para hacer más rígido el diseño experimental y obtener una mayor confiabilidad en su uso.

3) Introduciendo los cambios señalados en el punto anterior, es necesario replantear el período de sequía y también el de recuperación. Esto, probablemente disminuiría el período de simulación de sequía.

4) Respecto a los experimentos de compactación, son demasiado laboriosos. Lo que quedaría por determinar o comprobar a posteriori sería la efectividad de la densidad hallada de 1.5 gr/cc en suelos francos como una posible prueba que permitiría la decisión sobre una variedad resistente o no a la sequía. Aunque se hace necesario controlar la excesiva variabilidad con un más cuidadoso manejo de las macetas. Sí parece adecuado continuar con los mismos materiales usados en el diseño modificado de compactación. El uso de una sola densidad y no tres, ya facilita reducir la variabilidad del experimento y permite la prueba de un mayor número de variedades.

5) No recomendamos que se siga con los experimentos de supervivencia en invernadero usados en este estudio, a no ser que se cuente con aparatos de control de humedad y temperatura, tal como en los experimentos descritos por el Dr. Wilson (cfr. Glas 1977 - CIP Interim Report, DROUGHT TOLERANCE PROJECT).

- EPSTEIN, E. and GRANT, W. (1973) "Water Stress Relations of the Potato Plant Under Field Conditions". Agron. J. 65: 400-404.
- FLOCKER, W. and TIMM, H. (1966) "Effect of Soil Moisture Tension and Physical Conditions of Soil on Utilization of Water and Nutrients by Potatoes" Agron. J. 58: 290-293.
- FRANK, A. and BARKER, R. (1976) "Rates of Photosynthesis and Transpiration and Diffusive Resistance of Six Grasses Grown Under Controlled Conditions". Agronomy J. 68: 487-90.
- FUEHRING, H. and MAZAHERI, A. (1966) "Effect of Soil Moisture Depletion on Crop Yield and Stomatal Infiltration". Agron. J. 58: 195-198.
- GARDNER, W.R. and EHLIG. (1963) "The Influence of Soil Water on Transpiration of the Plants". J. Geophys. Res. 68: 5719-5724.
- GLAS, T.K. (1977) "Drought Tolerance Project", Interim Report, International Potato Center. 48 p.
- GLAS, T.K. (1977) "Drought Tolerance Project and Water Management Project" Final Report. International Potato Center. 155 p.
- GLAS, T.K. and VAN LOON, C.D. (1978) "Effects of Soil Compaction on Plant Water Status, Growth and Yield of Potatoes". Research Station of Arable Farming (Lelystad, Holanda).
- GRIMES, D. and SHEESLEY, W. (1978) "Alfalfa Root Development and Shoot Regrowth in Compact Soil of Wheel Traffic Patterns". Agron. J. 70: 955-958.

HARRIS, P.M. (1978) "Water". p. 245-278. In *The Potato Crop*. Chapman and Hall (ed.) London.

HAVERKORT, A. (1976) "Drought Tolerance of the Potato". Report submitted as partial fulfilment of the Requirement of the M.S. Degree at the Agricultural University in Wageningen, The Netherlands.

HSIAO, T.C. (1973) "Plant responses to Water Stress". *Am. Rev. Plant. Physiol.* 24: 519-570.

KANEMAZU, E. and TANNER, C. (1969) "Stomatal Diffusion Resistance of Snap Beans". I. Influence of Leaf-Water Potential. *Plant. Physiol.* 44: 1547-1552.

KETELLAPPER, H. (1963) "Stomatal Physiology". *A. Rev. Plant. Physiol.* 14: 249-267.

KRAMER, P.J. (1974) "Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas". Edutex S.A. México, 538 p.

KRIEDEMANN, P. (1971) "Photosynthesis and Transpiration as a Function of Gaseous Diffusive Resistance in Orange Leaves". *Physiol. Plant.* 24: 218-225.

LESCZYNSKI, D. and TANNER, C. (1976) "Seasonal Variation of Root Distribution of Irrigated Field Grown Russet Burbank Potato". *Am. Pot. J.* 53: 69-78.

LEVITT, J. (1972) "The Measurement of Drought Resistance in Responses of Plants to Environmental Stresses". Academic Press Inc. New York. 697 p.

- LEVY, D. (1983) "Varietal Differences in the Response of Potatoes to Repeated Short Periods of Water Stress in Hot Climates". *Pot. Res.* 26: 303-313.
- MILLAR, A. and GARDNER, W. (1971) "Internal Water Status and Water Transport in Seed Onion Plants". *Agron. J.*
- PALLAS, J.E. (1965) "Research in Plant Transpiration". *Prod. Res. Rep.* 87 ARS. USDA.
- PARKER, E. and JENNY, H. (1945) "Water Infiltration and Related Soil Properties as Affected by Cultivation and Organic Fertilization". *Soil. Sci.* 60: 353-376.
- PHILIP, J.R. (1966) "Plant Water Relations: Some Physical Aspects". *Ann. Rev. Physiol.* 17: 245-268.
- PORTALES, C. (1983) "Bases Fisiológicas del Stress por Sequía". Programa Académico de Graduados. U.N.A. Especialidad Producción Agrícola. 11 p.
- RITCHIE, G. and HINCKLEY, T. (1975). *Adv. Ecol. Res.* 9: 165-254.
- SHAW, R. and LAING, D. (19) "Moisture Stress and Plant Response". pág. 73-95 In *Plant Environment and Efficient Water Use*. Am. Soc. Agron.
- SHIMSHI, D. and SHALHEVET, J. (1983) "Irrigation Regime Effects on Some Physiological Responses of Potato". *Agro. J.* 75: 262-267.
- SLATYER, R.O. (1970) "Effect of Short Periods of Water Stress on Leaf Photosynthesis". pág. 271-276. In *Plant Response to Climatic Factors*. Unesco, 1973.

SLATYER, R.O. (1967) "Special Aspects of Transpiration". pág. 273-274 In Plant Water Relations. R.O. Slatyer (ed.) Academic Press, New York.

STRUCHTEMEYER, R., GRANT, W. and EPSTEIN, E. (1963) "Some Effects of Irrigation and Soil Compaction on Potatoes". Am Pot. J. 40: 266-270.

TAYLOR, H. and GARDNER, H. (1963) "Penetration of Cotton Seedling Taproots as Influenced by Bulk Density, Moisture Content, and Strength of Soil". Soil. Sci. 96: 153-156.

TIMM, H. and FLOCKER, W. (1966) "Responses of Potato Plants to Fertilization and Soil Moisture Tension Under Induced Soil Compaction". Agron. J. 58: 153-157.

TODD, G. and WEIBEL, D. (1977) "Effect of Repeated Drought Periods on the Survival of Sorghum Seedlings". Agron. J. 70: 509-510.

VEIHMEYER, F. and HENDRICKSON, A. (1948) "Soil Density and Root Penetration". Soil. Sci. 65: 487-493.

WAGGONER, P. (19) "Decreasing Transpiration and the Effect Upon Growth" pág. 49-72. In Plant Environment and Efficient Water Use.

WILSON, A. and HYDER, D. (1976) "Drought Resistance Characteristics of Blue Gramma Seedlings". Agron. J. 68: 479-484.

WILSTON, A. and SARLES, J. (1978) "Quantification of Growth Drought Tolerance and Avoidance of Blue Gramma Seedlings". Agron. J. 70: 231-237.