

SEMINARIO DE MANEJO DE AGUA PARA RIEGO DE LA CUENCA ATLANTICA  
(Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay e Uruguay)

Organizado por

EMBRAPA - CPATSA

GOBIERNO DEL BRASIL (MINTER, MINAGRI) / USAID / FAO - PNUD

RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL DEFICIT DE AGUA COMO INFORMACION  
BASICA PARA EL MANEJO DEL RIEGO<sup>1/</sup>

Agustín A. Millar<sup>2/</sup>

EMBRAPA - CPATSA

Maio - 3 - 1976

15056

<sup>1/</sup> Contribución del Proyecto Bra/74/008 de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Parte de este trabajo fue realizado mientras el autor formaba parte del cuadro profesional internacional del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).

<sup>2/</sup> Ing<sup>o</sup>. Agr<sup>o</sup>. Ph.D., Especialista en Investigación en Riego, Proyecto Bra/74/008, FAO/PNUD. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, EMBRAPA, Petrolina, PE.

## INDICE

SUMMARY

RESUMEN

INTRODUCCION

SITUACIÓN ACTUAL	2
METODOLOGIA DE ANALISIS	10
. Información de rendimiento.....	10
. Definición del potencial matricial del suelo y profundidad efectiva.....	11
. Definición del nivel de producción real en función del nivel de potencial matricial en el suelo manejable a través del riego.....	11
. Balance de agua.....	12
. Nivel de producción y frecuencia de riego.....	12
RESULTADOS Y DISCUSION	13
I. Rendimiento relativo en función del potencial matricial del suelo y fenología del cultivo.....	13
1. Trigo y cebada.....	13
2. Maíz.....	16
3. Algunos cultivos hortícolas.....	22
a. Cebolla.....	22
b. Papas.....	26
c. Lechuga.....	28
d. Otros cultivos.....	31
4. Forrajeras.....	36
a. Alfalfa.....	37
b. Trébol.....	37
c. Pastos anuales.....	40
d. Pastos perennes.....	40

5. Plantas industriales.....	43
6. Cuadro-resumen de la respuesta de los cultivos al manejo de riego.....	43
II. Balance de agua, nivel de producción y frecuencia de riego.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56

CROP RESPONSE TO WATER DEFICITS AS BASIC INFORMATION  
FOR IRRIGATION MANAGEMENT

SUMMARY

Plant response to soil moisture conditions and atmospheric demand is a basic information for efficient irrigation management with the purpose of obtaining maximum yields.

Literature information usually is given in terms of soil suction levels for obtaining maximum yields, and crop critical periods to water stress. This information, though a useful one, does not provide elements for quantitative decision which <sup>would</sup> allow technical operators or extensionists in the irrigation projects to choose a real production level according to the climatic, crop, soil and irrigation method conditions, and management possibilities.

This work, based upon published data, presents an analysis methodology of the results obtained in soil moisture level-yield experiments which allow to define quantitatively, the following:

- a. Yield reduction at any soil matric potential between 0 and -10 bars.
- b. Yield reduction due to phenological water deficits at any growth stage.
- c. Real production level that could be obtained under determined atmospheric demand conditions.
- d. Irrigation frequency, based upon water requirement by crops and soil matric potential, to define the real production level at which irrigation can be managed.

With the previous information is possible to take decisions towards a better usage of the available water, equipment and labor, and also allowing to equate properly the water distribution and management to obtain the real maximum production level.

The analysis showed the impossibility of obtaining potential yields in most crops by means of traditional water application methods due to the high irrigation frequency. The potential yield of these crops could only be obtained by means of drip irrigation or similar method which maintain the soil moisture conditions at high soil matric potential values.

It was not found sufficient information of water deficit effects upon yield for some crops, especially fruit trees.

## RESUMEN

La respuesta de la planta a las condiciones de humedad del suelo y demanda atmosférica es un elemento básico para el adecuado manejo del riego con la finalidad de obtener rendimientos máximos.

La información existente en la literatura, normalmente se plantea en términos de niveles óptimos de agua (o succión) para obtener rendimientos máximos, y de establecimiento de los períodos críticos a la falta de agua. Este tipo de información, aunque importante no da elementos de decisión cuantitativa que permitan al Técnico-operador o Extensionista de un proyecto de riego escoger el nivel de producción real que se ajuste a las condiciones de clima, cultivo, suelo, método de riego y las posibilidades de manejo.

En este trabajo, basado en datos publicados para diferentes cultivos se presenta una sistemática de análisis de los resultados experimentales de niveles de agua versus rendimiento que permite definir cuantitativamente:

- a. Reducción del rendimiento a cualquier nivel de potencial matricial entre 0 y -10 bares
- b. Reducción del rendimiento por efecto de déficits fenológicos en cualquier período del ciclo vegetativo del cultivo.
- c. Nivel de producción real, respecto del potencial, que puede obtenerse bajo determinadas condiciones de demanda atmosférica (clima)
- d. Frecuencia de riego, en base a la demanda del cultivo y potencial matricial, para definir el nivel de producción real a que puede manejarse el riego.

Con este tipo de información es posible tomar decisiones que permitan el mejor aprovechamiento del agua disponible, equipos y mano de obra, de tal forma de poder ecuacionar la distribución y manejo del riego para obtener el máximo nivel de producción real.

Por otra parte, el análisis demostró que mediante la metodología tradicional de aplicación del agua de riego es imposible obtener rendimiento potencial en algunos cultivos, debido a la alta frecuencia de riego que sería necesario usar. Los rendimientos máximos (potencial) de estos cultivos sólo se podrán obtener mediante goteo, u otro método que mantenga sin alterar las condiciones óptimas de humedad.

Se constató que la información cuantitativa del efecto del riego sobre los rendimientos es insuficiente para algunos cultivos, especialmente frutales.

## INTRODUCCION

Los rendimientos y calidad de los cultivos agrícolas aumentó rápidamente desde 1945 debido principalmente al uso de variedades mejoradas, uso de fertilizantes, mejor uso del agua de riego, control de insectos y plagas, etc.

De los factores complementarios de la producción, el agua es el factor que limita los rendimientos con mayor frecuencia, de tal manera que el control de la humedad del suelo es crítico para el suceso de la agricultura de riego.

En general, los cultivos en mayor o menor grado responden a las condiciones variables de la humedad del suelo. De tal forma que para realizar un manejo adecuado y eficiente del riego es imprescindible conocer cuantitativamente el efecto del déficit de agua sobre los rendimientos de los cultivos.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la información experimental publicada y determinar el efecto del riego sobre el rendimiento de diferentes cultivos, crear una metodología de análisis que permita utilizar información mundial, y determinar niveles de manejo de riego para los diferentes cultivos a fin de maximizar el nivel de producción real.



## SITUACION ACTUAL

En la literatura existe un gran volumen de resultados de experimentos realizados con la finalidad de estudiar el efecto de los niveles de humedad en el suelo sobre los rendimientos de los cultivos (Haise y Hagan, 1967; Salter y Goode, 1967; Taylor, 1965). Esta información ha permitido definir el nivel de potencial matricial (Succión) del suelo al cual debe aplicarse riego a los cultivos para obtener máximos rendimientos.

En la Tabla 1 se presenta los niveles de potencial matricial en el suelo al cual debe aplicarse riego para obtener máximo rendimiento en diferentes cultivos cuando cultivados en suelos profundos y en condiciones adecuadas de drenaje y fertilidad.

De los datos de la Tabla 1, se concluye que la mayoría de los cultivos requieren de riego antes de alcanzar un potencial matricial de  $-0,7$  bar. En algunos casos, como en frutillas, apio y caña de azúcar se requiere aplicaciones de riego a altos niveles de potencial matricial (baja succión).

La información de la Tabla 1 permite definir los niveles óptimos a que debe aplicarse el riego, pero normalmente las condiciones de operación (equipos, métodos de riego, clima y mano de obra) impiden la realización de un manejo del riego en condiciones óptimas. No obstante ser una información básica que permite definir al nivel potencial de producción, es de mayor importancia conocer el efecto de niveles de humedad fuera del óptimo de tal forma de poder definir el nivel de manejo del riego a que puede adecuarse el productor para obtener un "rendimiento máximo" acorde con sus posibilidades, dadas por las condiciones de operación y clima. Esta información no puede obtenerse de los datos de la Tabla 1, y si se puede inferir a través de la sistemática de análisis que se presenta mas adelante en este trabajo.

Por otra parte, numerosos trabajos realizados han permitido de-

finir aquellos períodos de los cultivos en que un déficit de riego produce una caída pronunciada en los rendimientos, el cual se conoce como período crítico del cultivo. La información existente en la literatura permite definir estos períodos para diferentes cultivos, lo cual se muestra en la Tabla 2. Para fines de manejo de riego y tomada de decisiones, esta información es valiosa pero incompleta. Para tener todos los antecedentes necesarios es preciso no solo conocer el efecto del déficit de riego durante el período crítico sino que también antes y después de este. El déficit de riego también produce reducción del rendimiento, en menor escala, en otros períodos del ciclo fenológico del cultivo, pero que en el manejo de los cultivos bajo riego constituye una información muy importante. La sistemática de análisis que se describe a continuación permite definir cuantitativamente el nivel de reducción en el rendimiento del cultivo en cualquier período de su ciclo fenológico.

Tabla 1. Potencial matricial (succión) del suelo a la cual debe aplicarse riego para obtener rendimiento máximos en varios cultivos.

Cultivo	Potencial matricial	Referencia
<u>HORTALIZAS</u>		
Repollo	-(0,60-0,70)	Vittum et al. (1963), Pew (1958)
Arvejas	-(0,30-0,50)	Taylor (1965)
Apio	-(0,20-0,30)	Haise y Hagan (1967)
Lechuga	-(0,40-0,60)	Vissar (1959), Pew (1958)
Maiz dulce	-(0,50-1,0)	Vittum et al. (1963)
Cebolla	-(0,45-0,65)	Pew (1958)
Papas	-(0,30-0,50)	Vittum et al. (1963), Pew (1958)
Zanahoria	-(0,55-0,65)	Pew (1958)
Coliflor	-(0,60-0,70)	Pew (1958)
Tomate	-(0,80-1,50)	Vittum et al. (1958), Vittum et al. (1963)
Pepinos	-(1,0 - 3,0)	Doorenbos y Pruitt (1975)
Zanahoria para semillas	-(4,0 - 6,0)	Hawthorne (1951)
cebollas para semillas	-1,50	Haise y Hagan (1967)
<u>SEMILLAS</u>		
Trigo	-(0,80-1,50)	Doorenbos y Pruitt (1975)
Trigo (maduración)	-(3,0 - 4,0)	Doorenbos y Pruitt (1975)
Maiz (vegetativo)	-0,50	Taylor (1965)
Maiz (maduración)	-(8,0 -12,0)	Taylor (1965)
Cereales menores (vegetativo)	-(0,40-0,50)	Taylor (1965)

Cultivo	Potencial matricial	Referencia
Cereales menores (maduración)	-(8,0-12,0)	Taylor (1965)
Poroto	-(0,75-2,0)	Vittum et al. (1963)
<u>FRUTAS Y FRUTALES</u>		
Frutillas	-(0,20-0,30)	Haise y Hagan (1967)
Cantaloupe	-(0,35-0,40)	Marsh (1961), Pew (1958)
Plátano	-(0,30-1,50)	Schmueli (1953)
Uva (plantas nuevas)	-(0,40-0,50)	Haise y Hagan (1967)
Uva (plantas formadas)	-1,0	Haise y Hagan (1967)
Limonero	-4,0	Haise y Hagan (1967)
Naranja	-(0,20-1,0)	Stolzy et al. (1963)
Palto	-0,50	Richards et al. (1962)
Melón	-(0,30-0,80)	Doorenbos y Pruitt (1975)
<u>FORRAJERAS</u>		
Sorgo	-(0,50-1,3)	Doorenbos y Pruitt (1975)
Alfalfa	-1,50	Taylor (1965)
Alfalfa para semillas		
- Prefloración	-2,0	Taylor et al. (1958)
- Floración	-(4,0 - 8,0)	Taylor et al. (1958)
- Maduración	-(4,0 -15,0)	Taylor et al. (1958)
Pasto	-(0,30-1,0)	Vissar (1959)
Trébol	-(0,30-0,60)	Doorenbos y Pruitt (1975)

Cultivo	Potencial matricial	Referencia
<u>PLANTAS INDUSTRIALES</u>		
Tabaco	--(0,30-0,80)	Jones et al. (1960)
Caña de azucar	-(0,25-0,30)	Anónimo (1954)
	-(0,80-1,50)	Doorenbos y Pruitt (1975)
	-(0,40-0,60)	Taylor (1965)
Remolacha		
Algodón	-(1,0 - 3,0)	Doorenbos y Pruitt (1975)
	-(1,0 - 2,0)	Doorenbos y Pruitt (1975)
Cartamo		
Soya	-(0,50-1,50)	Doorenbos y Pruitt (1975)

Tabla 2. Períodos críticos al déficit de agua de algunos cultivos.

Cultivo	Período Crítico	Referencia
<u>HORTALIZAS</u>		
Repollo	Durante la formación de la cabeza y su crecimiento	Janes y Drinkwater (1959) Vittum et al. (1963), Drew (1966)
Arvejas	Comienzo floración y durante hinchamiento del capi	Salter (1962, 1963)
Lechuga	Antes de la cosecha	Sale (1966)
	Durante la formación de la cabeza	Singh y Alderfer (1966)
Cebolla (bulbo)	Durante la formación del bulbo	Lis et al. (1967), Singh y Alderfer (1966)
Cebolla (semillas)	Floración	Salter y Goode (1967)
Papas	Después de la formación del tubérculo	Winter (1960), Taylor y Rognerud (1959)
	Estolonización y comienzo de tuberización	Setruchtemeyer (1960), Lis et al. (1964)
	Floración y tuberización	Nijensohn et al. (1966)
	Floración a cosecha	Doorenbos y Pruitt (1975)
Coliflor	Sin período crítico. Riego frecuente desde plantación	Salter (1961), Doorenbos y Pruitt (1975)
Tomate	Floración	Grassi et al. (1967)
	Formación de flores y crecimiento rápido de los frutos	Salter y Goode (1967)
Rabanito	Durante formación y crecimiento de la raíz	Singh y Alderfer (1966)

Cultivo	Período Crítico	Referencia
<u>GRANOS</u>		
Trigo	Espigadura y formación del grano Dos semanas antes de polinización	Lehane y Staple (1962) Doorenbos y Pruitt (1975)
Cebada	Espigadura a grano en estado lechoso Grano en estado lechoso	Jensen, Millar y Bauer (1967) Wells y Dubetz (1966)
Avena	Comienzo emergencia de la espiga Emergencia espiga a completa espigadura	Van der Paauw (1949) Doorenbos y Pruitt (1975)
Maíz	Previo a formación del polen y durante formación de la mazorca	Denmead y Shaw (1960) Robins y Domingo (1953) Runge y Odell (1958) Howe y Rhoades (1955)
	Período de polinización es muy crítico si no hubo déficit previo	Doorenbos y Pruitt (1975)
Poroto(Frejol)	Floración y formación del capi Floración y formación capi > déficit temprano > <u>ma</u> durez Período madurez > temprano si no hubo déficit previo	Kattan y Fleming (1956) Doorenbos y Pruitt (1975)
<u>FRUTAS y FRUTALLES</u>		
Frutillas	Desarrollo fruto a madurez	Doorenbos y Pruitt (1975)
Melón	Floración a cosecha	Doorenbos y Pruitt (1975)
Vid	Comienzo crecimiento. Después de formación del grano	Kasimatis (1967), Vaadia y Kasimatis (1961)
Cítricos	Floración y formación del fruto Alta floración puede inducirse con un corte del riego antes de floración (limón)	Salter y Goode (1967) Doorenbos y Pruitt (1975)

Cultivo	Período Crítico	Referencia
Damasco	Período de floración y desarrollo de los botones florales	Uriu (1964)
Cerezo y Durazno	Período de crecimiento rápido que antecede a la madurez	Hildreth, Magness y Mitchell (1941)
<u>FORRAJERAS</u>		
Alfalfa	Inmediatamente después de los cortes para heno	Doorenbos y Pruitt (1975)
Alfalfa(semilla)	Inicio período de floración	Doorenbos y Pruitt (1975)
Sergo	Raíces secundarias y macolla a encañadura > espigadura, floración y formación del grano > período de llenado del grano	Doorenbos y Pruitt (1975)
<u>PLANTAS INDUS- TRIALES</u>		
Caña de azucar	Período de máximo crecimiento vegetativo	Doorenbos y Pruitt (1975)
Remolacha(semilla)	Floración y desarrollo de la semilla 3-4 semanas después de emergencia	Salter y Goode (1967) Doorenbos y Pruitt (1975)
Lino (fibra)	Período vegetativo de pre-floración	Salter y Goode (1967)
Lino (semilla)	Durante y después de floración	Salter y Goode (1967)
Algodón	Floración y formación capullo > estados anteriores > después formación capullo Comienzo floración Pre-floración	Doorenbos y Pruitt (1975) Marani y Horwitz (1963) Salter y Goode (1967)
Maravilla (Girasol)	Formación de las flores y madurez de las semillas	Salter y Goode (1967)
Soya	Período de mayor crecimiento vegetativo y floración	Salter y Goode (1967)
Olivos	Inmediatamente antes de floración y durante crecimiento del fruto Ultimos períodos de la madurez de los frutos	Doorenbos y Pruitt (1975) Spiegel (1955)



## METODOLOGIA DE ANALISIS

La sistemática de análisis de la información consistió en obtener de la literatura datos experimentales para los diferentes cultivos. Estos datos fueron clasificados y reducidos a formas operativas y comparables, las cuales se describen a continuación.

### 1. Información de rendimiento

Con la finalidad de obtener la información en una forma que se constituya en un elemento de decisión para programadores y operadores de riego, se optó por reducir todos los datos experimentales disponibles, tanto para niveles de humedad como aquellos de ciclos fenológicos en forma de rendimientos relativos. Como rendimiento relativo debe entenderse el rendimiento en determinadas condiciones (rendimiento real) respecto de las condiciones óptimas (rendimiento potencial). En el caso del presente trabajo, el rendimiento potencial correspondiente al obtenido en condiciones óptimas de humedad.

La información de rendimiento expresada en forma relativa presenta una serie de ventajas porque permite utilizar datos expresados en diferentes unidades (Kg/ha, g/maceta, etc) de diferentes variedades, producidas en diversos climas y provenientes de años diferentes.

En el caso de la relación rendimiento relativo y potencial matricial del suelo, toda la información debe seguir una misma relación, independiente de variedad y clima, pero en algunos casos se presenta dispersión lo cual se debe principalmente a que próximo al nivel de humedad prefijado (indicación de aplicación de riego) coincidió con parte del período crítico causando una disminución extra en los rendimientos. Otros problemas se refieren a la dificultad en definir los niveles de humedad a partir de la información publicada, especialmente cuando no se presenta la curva de retención de agua del suelo usado, lo cual se aborda más adelante.

La definición del ciclo fenológico, tanto en tiempo como en períodos, para la conformación de la relación rendimiento relativo versus ciclo fenológico, se obtuvo en base a los datos existentes. Esto no implica que sean absolutos, ya que por razones de variedad, latitud y clima se presentarían diferencias en el tiempo para alcanzar determinado período o completar el ciclo. Lo importante en este caso es que independiente de los factores que afectan el ciclo, el cultivo antes o después deberá pasar por los diferentes períodos de su ciclo de crecimiento.

## 2. Definición del potencial matricial del suelo y profundidad efectiva

La información de los niveles de humedad a los cuales se aplicaba el riego no siempre eran presentados en términos de succión o potencial matricial. La información más comúnmente encontrada fue en la forma de porcentaje de la humedad aprovechable alcanzado antes de aplicar el riego. En estos casos, cuando se acompañaba la curva de retención de agua del suelo, se convirtió el nivel de agua aprovechable a valores de potencial matricial (succión).

En aquellos casos en que sólo se conocía los niveles de humedad aprovechables pre-fijados para el riego, se utilizó la Figura 30-2 de Haise y Hagan (1967) que relaciona niveles de humedad aprovechable y potencial matricial para diferentes texturas de suelo.

La profundidad efectiva considerada, en la mayoría de los casos, correspondió a aquella donde se concentraba la mayor proporción del sistema radicular.

## 3. Definición del nivel de producción real en función del nivel de potencial matricial (succión) en el suelo manejable a través del riego

Utilizando la relación entre rendimiento relativo y potencial matricial del suelo se definieron los potenciales matriciales para cada cultivo a los cuales debería aplicarse el riego para asegurar un nivel de producción, pre-determinados en 100 (potencial) 90, 80, 70, 60 y 50%.

#### 4. Balance de agua

Con la finalidad de ejemplarizar la sistemática de análisis de la información se realizó un balance de agua para los dos tipos de suelo de mayor importancia, latosol y vertisol, del Valle de San Francisco en el Noreste de Brasil.

En los suelos anteriormente mencionados se utilizó un perfil de 40 cm como profundidad efectiva del balance de agua para la mayoría de los cultivos.

La finalidad principal de este balance fue obtener la variación de potencial matricial en función del tiempo para diferentes niveles de pérdidas de agua, supuestos constantes, del volúmen de suelo.

#### 5. Nivel de producción y frecuencia de riego

Para los suelos anteriormente mencionados se obtuvo la relación entre nivel de producción real alcanzable en función de la frecuencia de riego para diferentes cultivos. Para obtener esta relación se usaron los datos del balance de agua y la relación entre rendimiento relativo y potencial matricial del suelo.

En este caso se pre-fijó la evapotranspiración media del cultivo en condiciones de cubierta total. Como en el Noreste de Brasil existe poca información de evapotranspiración de cultivos, se utilizaron datos de otras regiones de clima similar, principalmente Arizona (Erie, French y Harris, 1968).

## RESULTADOS Y DISCUSION

I. Rendimiento relativo en función del potencial matricial del suelo y fenología del cultivo.

Esta es la información que se constituye en el elemento básico para establecer un manejo regional del riego de los cultivos. A continuación se discute la situación particular de varios cultivos.

1. Trigo y Cebada

El rendimiento relativo de trigo y cebada en función del potencial matricial del suelo se presenta en la Figura 1. Esta Figura indica que el rendimiento disminuye a medida que el riego se aplica a niveles menores de potencial matricial (mayor succión). Así para obtener un 90% del rendimiento potencial se necesitará aplicar riego cada vez que el potencial matricial del suelo llegue a -2 bares. El nivel potencial de producción se obtendría manejando el riego a -0,5 bar de potencial matricial lo que resulta difícil de obtener con los métodos comunes de riego.

De la Figura 1 también se puede concluir que 80% de la producción potencial se puede obtener regando a un nivel de -3 bares, 70% a -4,6 bares, 60% a -6,3 bares y 50% a -8,5 bares. Lo anterior se mantendrá sólo en el caso que en los últimos días antes de alcanzar el nivel al cual se debe aplicar el riego, no coincida con parte del período crítico.

Maximov, citado por Henckel (1964), establece que los cereales tienen dos períodos críticos a la falta de agua, desde la macolla al espigado y desde espigado hasta el final del estado lechoso del grano. Alekseev, también citado por Henckel (1964), encontró una reducción máxima en los rendimientos cuando los cultivos eran sometidos a déficits de agua durante el estado de espigadura.

La información recolectada por Robin y Domingo (1962) muestra

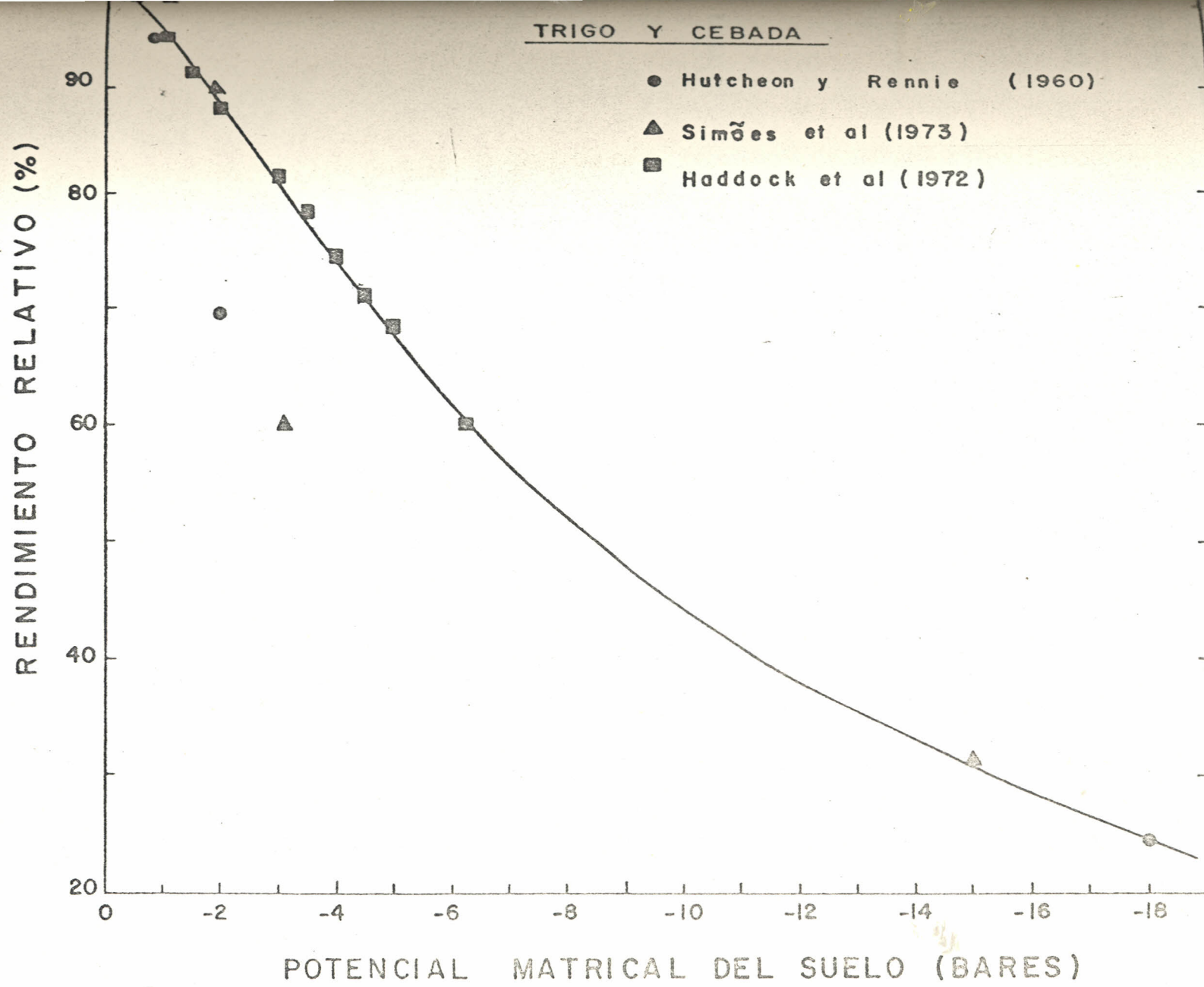


Figura 1. Rendimiento relativo de trigo y cebada en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

que el peso promedio de los granos se reduce marcadamente por déficits de agua provocados antes o durante el proceso de madurez. Por otra parte, Jensen, Millar y Bauer (1967) encontraron que el rendimiento de granos en cebada fue reducido notoriamente, cuando el déficit se provocó entre el estado de largura completa del grano hasta la madurez.

Los estudios de déficit de riego en cebada de Aspinall et al. (1964), permiten obtener varias conclusiones, entre ellas:

- Un déficit temprano de agua en el ciclo tiene influencia sólo en la macolla.
- Aquellos órganos que crecen más rápido durante el déficit de agua son los que sufren los mayores efectos.
- El déficit de agua durante la reproducción produce una reducción en el llenado del grano (grain-filling), en el tamaño, y algunas veces produce arrugamiento.

Salter y Goode (1967) resumen la respuesta de los cereales a la falta de agua en las siguientes conclusiones:

- Estos cultivos muestran una marcada sensibilidad a la falta de agua durante la formación de los órganos reproductivos y durante la floración.
- Déficit de agua durante los períodos indicados reducen marcadamente los rendimientos de granos a través de una reducción en el número de granos por espiga.
- Los tejidos de los órganos reproductivos demuestran ser susceptibles a daño por la falta de agua. Debido a esto la formación del polen y la fecundación pueden ser seriamente afectadas bajo condiciones de sequía.
- El riego tiene un máximo efecto beneficioso sobre los rendimientos cuando se aplica durante el desarrollo de los órganos florales (aplicación tardía durante el encañado, espigado y floración). La lluvia tiene un efecto beneficioso similar cuando coincide con estos períodos críticos.

En la Figura 2 se muestra el efecto de déficits fenológicos a través de la relación entre el rendimiento relativo y fenología del cultivo basada en datos experimentales de varios autores. El calendario fenológico de trigo y cebada, corresponde al descrito por Peterson (1965). Se observa que la disminución de rendimiento debido a la falta de riego es marcada entre floración y grano al estado semi-consistente. La influencia del déficit no es específica, ya que en menor escala se extiende a parte del ciclo vegetativo (macolla a encañadura).

La falta de riego en el período crítico causará aproximadamente 17% de disminución en los rendimientos. Si esto ocurre entre macolla y encañadura la reducción será entre 5% y 25%.

Esta es la importancia de este tipo de gráfico ya que permite cuantificar la disminución del rendimiento por efecto de déficit fenológicos en cualquier etapa del ciclo fenológico del cultivo.

## 2. Maíz

La Figura 3 muestra la relación entre rendimiento relativo de maíz y potencial matricial del suelo. Se observa que este cultivo es más sensitivo a la falta de agua que el trigo y cebada. Para obtener 90% del rendimiento potencial es necesario manejar el riego a  $-0,9$  bar de potencial matricial ( $-2$  bares en el caso de trigo y cebada). El 80% se obtendría regando a  $-1,6$  bares, 70% a  $-2,4$  bares, 60% a  $-3,4$  bares, y 50% a  $-4,9$  bares.

Respecto a la influencia de déficits fenológicos sobre los rendimientos de maíz la información es abundante.

Robins y Domingo (1953) en trabajos realizados en condiciones de campo, encontraron que déficits severos por períodos de 1 a 2 días durante la polinización reducía los rendimientos en 22%. Cuando el período de déficit se extendió a 8 días, la reducción de rendimiento fue de 50%.

El trabajo realizado por Denmead y Shaw (1960) demuestra que la falta de riego durante el período reproductivo, formación de las inflorescencias masculinas y femeninas, y polinización, es el período más crí-

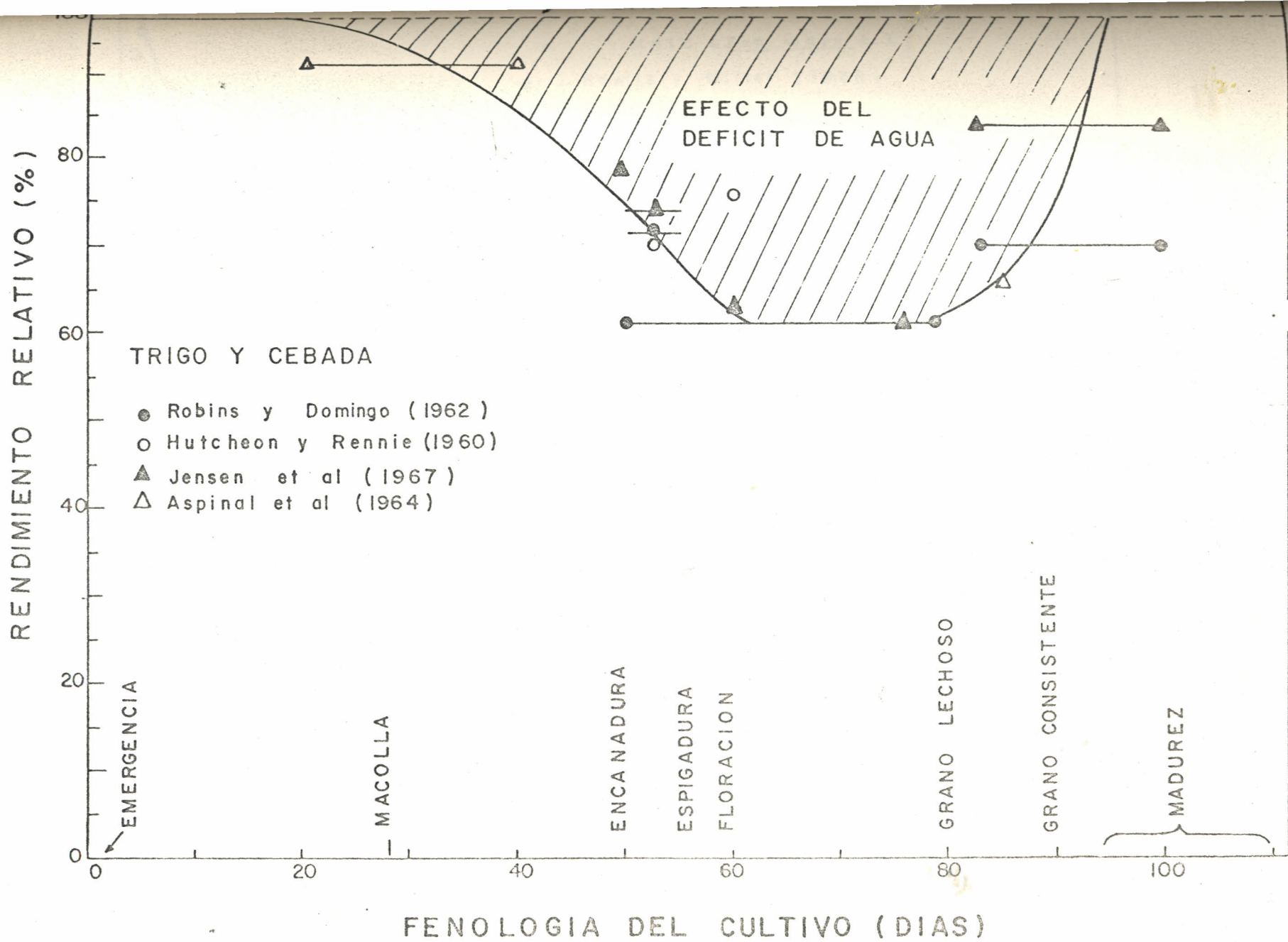


Figura 2. Efecto del déficit fenológico de agua sobre el rendimiento relativo de trigo y cebada.



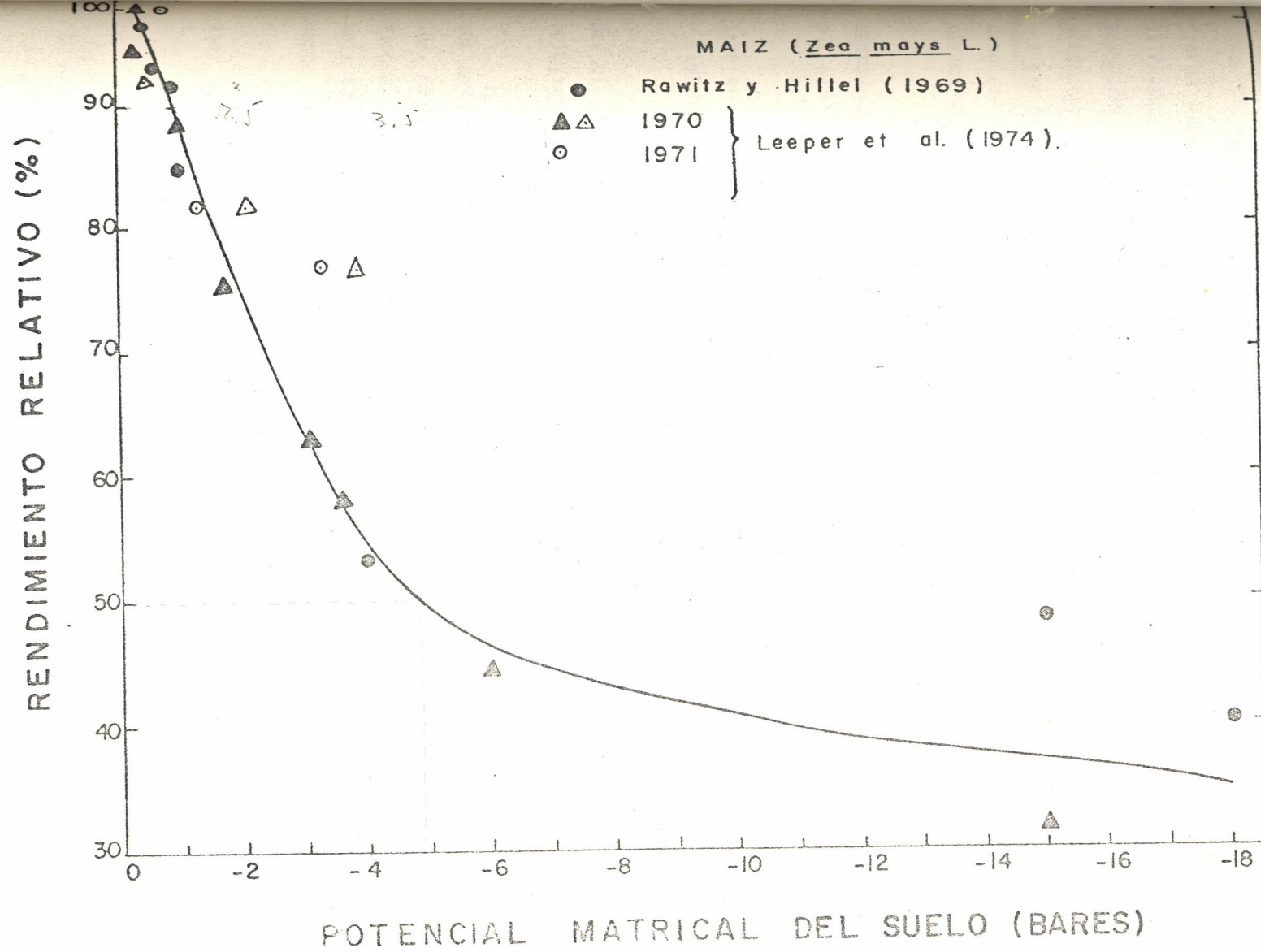


Figura 3. Rendimiento relativo de maiz en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

tico. El déficit de agua durante el período vegetativo y formación de los granos también afecta los rendimientos pero en menor escala.

En otros trabajos realizados por Godard, citado por Salter y Goode (1967), se encontró que la falta de riego algunos días antes de la floración producía un 25% de reducción en los rendimientos.

Volodarskij y Zinevic, citados por Salter y Goode (1967) encontraron que un déficit moderado durante el período de germinación hasta la formación de la inflorescencia femenina o un déficit severo desde germinación al período de hoja 7-8, causan una reducción de rendimiento vegetativo pero no afecta el rendimiento de granos. La mayor reducción en los rendimientos de granos se produjo cuando el déficit de agua se provocaba en el período reproductivo, formación de las inflorescencias y polinización.

La importancia del riego antes de la formación de los órganos reproductivos y polinización se observa en los resultados de Rhoades et al. (1954), Howe y Rhoades (1955) y Jones et al. (1957)

Resultados similares a los anteriormente descritos se encuentran en los trabajos realizados por Gard et al. (1961), Sommerfeldt (1960) y Claassen y Shaw (1970).

En la Figura 4 se resumen los resultados de varios autores sobre el efecto del déficit de riego en determinados períodos del ciclo fenológico del maíz sobre los rendimientos.

La extensión del ciclo fenológico varía por influencia de factores ambientales del suelo y atmósfera, tales como humedad, temperatura, luz, etc., pero en cualquier caso la planta debe pasar por diferentes períodos desde su emergencia hasta la madurez. El período reproductivo del maíz (formación de inflorescencias, polinización hasta madurez) normalmente varía poco en extensión (47-48 días).

Kiesselbach, citado por Sommerfeldt (1960) indica como promedio, el calendario siguiente:

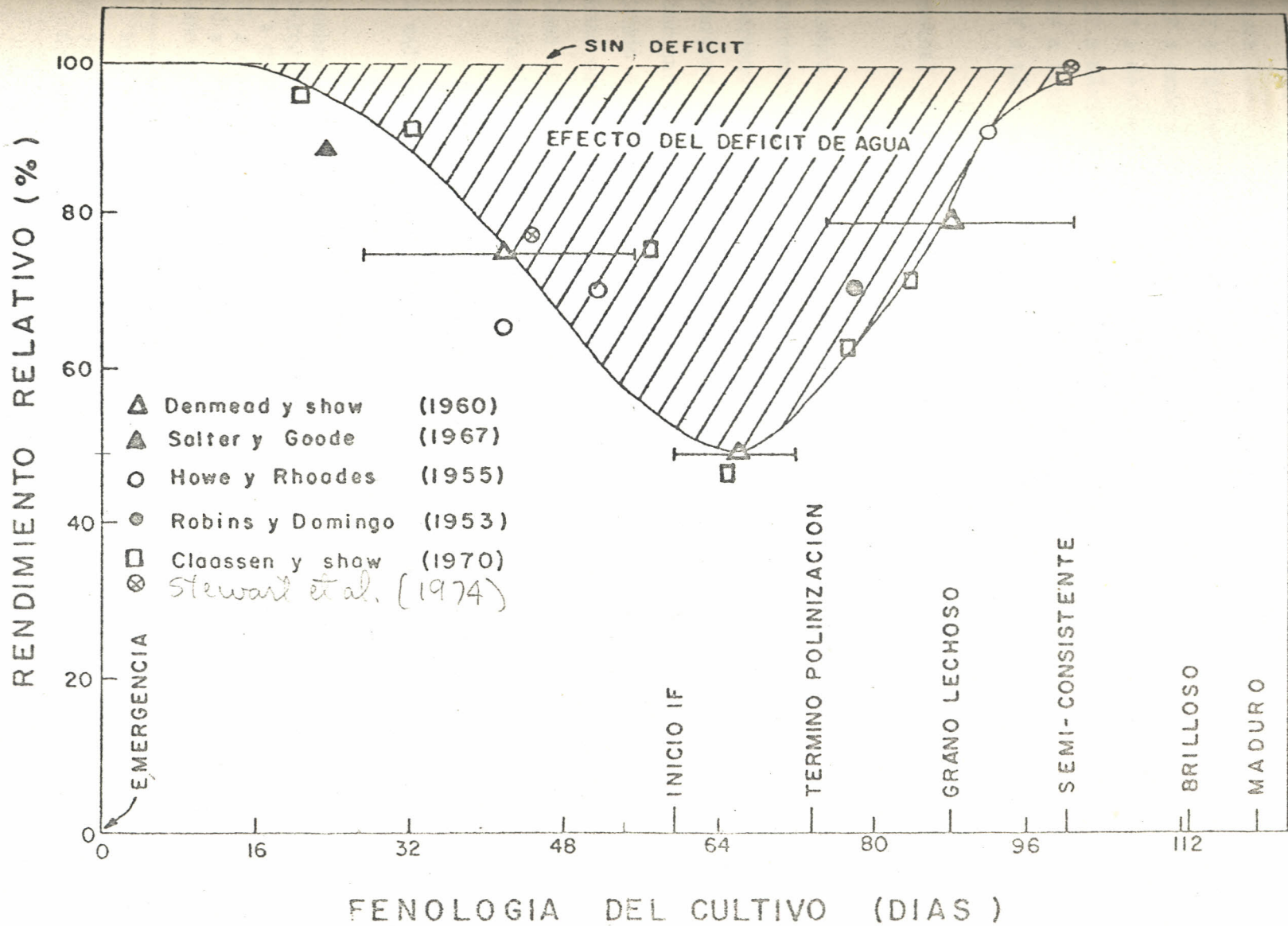


Figura 4.-Efecto del déficit fenológico de agua sobre el rendimiento relativo de maiz.

<u>Período</u>	<u>Días</u>
Emergencia inflorescencia femenina (EIF) hasta completamente fuera	6,3
EIF a formación anteras (pólen)	6,4
EIF a emergencia inflorescencia masculina (EIM)	8,4
EIF a máxima expulsión de pólen	9,8
EIF a máxima largura de inflorescencia masculina (IM)	10,7
EIF a fertilización evidente por IM	12,0
EIF a término de la expulsión de pólen	12,7

Por otra parte, para una variedad de maíz adaptada para la parte central de IOWA, Hanway (1966) identifica los siguientes períodos:

<u>Período</u>	<u>Días</u>
Siembra a emergencia	5
Emergencia a inicio de EIF	28
Emergencia a EIF	56
Emergencia a largura máxima de IF	63-64
Emergencia a EIM	66
Estado acuoso	12 después EIM
Grano estado semi-consistente	24 después EIM
Grano completamente extendido	48 después EIM
Madurez fisiológica	60 después EIM

De acuerdo a Wiidakas (1958) el calendario fenológico para maíz de madurez relativa de 100 días, es el siguiente:

<u>Período</u>	<u>Días</u>
Siembra a emergencia	7 - 10
Emergencia a IM <sup>1/</sup>	50 - 74 <sup>2/</sup>
IM a grano estado lechoso (GEL)	16
GEL a grano semi-consistente (GSC)	13
GSC a grano brillante	12
Grano brillante a grano maduro	7

1/ Aproximadamente 50% de las plantas con IM

2/ 50 días para maíz de 75 días de madurez relativa, y 74 días para maíz de 100 días de madurez relativa.

La extensión de los diferentes períodos del ciclo fenológico de la Figura 4 corresponde aproximadamente a este último calendario.

De la Figura 4 se deduce que la falta de agua en el período comprendido entre inflorescencia femenina y término de la polinización afecta marcadamente el rendimiento de maíz, y constituye el período más sensible al déficit de agua. La reducción en los rendimientos es menor para otros estados fenológicos.

El efecto del déficit de agua sobre el rendimiento de maíz comienza a ser evidente a partir de aproximadamente 20 días después de la emergencia, con una reducción de aproximadamente 5% alcanzando su máximo efecto detrimental durante el período reproductivo, aproximadamente 50%, y disminuyendo su intensidad cuando el grano está cercano a la madurez fisiológica.

### 3. Algunos cultivos hortícolas

En general, existe diferencia en la respuesta al agua por parte de las especies hortícolas, según la producción sea bulbos, tubérculos, raíces (ejemplo: cebollas, papas, rábanos, respectivamente) u hojas (lechugas, repollo, etc.). Con el fin de ejemplarizar lo que ocurre se discuten tres especies cuyo producto es diferente: cebolla (bulbo), papas (tubérculos), y lechuga (hojas).

#### a. Cebolla

La Figura 5 muestra la relación entre rendimiento relativo de cebolla y el potencial matricial del suelo. Como indica la Tabla 1 y la Figura 1, el nivel potencial de rendimiento se alcanza cuando se maneja el riego a un nivel de -0,5 bares. El rendimiento disminuye para otros niveles de manejo de riego. Así, 90% de rendimiento se obtiene con un manejo a nivel de -1,6 bares, 80% con -2,1 bares, 70% con -2,9 bares, 60% con -3,7 bares, y 50% con -5 bares.

Jones y Johnson (1958) estudiaron la respuesta de la cebolla a la falta de agua en experimentos de campos consistentes en 18 tratamientos de riego. De estos, 12 consistieron en riegos diferidos durante el ci

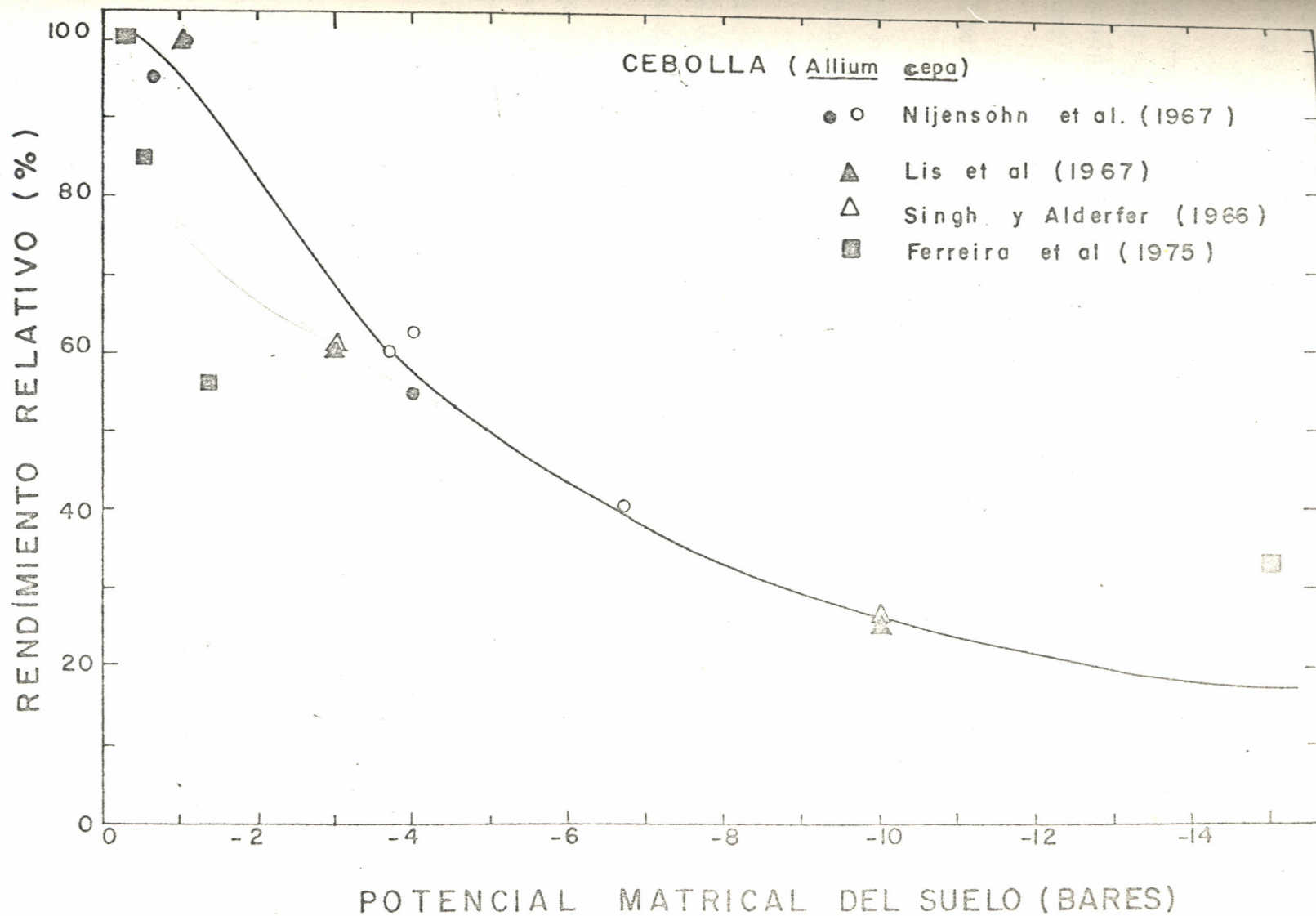


Figura 5. Rendimiento relativo de cebolla en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

clo fenológico de la cebolla. El mayor rendimiento lo obtuvieron en el tratamiento con succión máxima en el suelo de 0,3 bar. Ellos encontraron que la falta de agua en cualquier período reducía los rendimientos. Los déficits que ocurrían temprano eran menos perjudiciales que los provocados más tarde en el ciclo.

Estudios realizados por Singh y Alderfer (1966) demuestran que los déficits en cualquier período del ciclo reducen los rendimientos. Ellos encontraron que el período más crítico, que provoca una mayor reducción en los rendimientos, ocurría durante el período del desarrollo del bulbo y crecimiento del mismo.

Lis et al. (1967) encontraron que el inicio de la formación del bulbo es el período más crítico al déficit de agua.

Para el caso de cebollas para producción de semillas Mac Gillivray (1948) encontró que la floración es el período más crítico al déficit de agua.

En la Figura 6 se muestra la información resumida de los rendimientos relativos de cebolla cuando sometida a déficit de agua únicos en diversos períodos del ciclo fenológico. El ciclo fenológico utilizado es aquel descrito por Lis et al. (1967).

La Figura 6 muestra que el mayor efecto del déficit de agua sobre los rendimientos se produce en el período de crecimiento activo del bulbo, con una disminución de aproximadamente 45% en el rendimiento. Este efecto se manifiesta, en menor escala, desde antes del inicio de la formación del bulbo y se extiende hasta cuando alcanza un 80% de su peso máximo.

De la Figura 6 se desprende que el mayor efecto benéfico del riego se obtendrá cuando las aplicaciones de agua son realizadas antes de alcanzar el período crítico. Un riego durante el período crítico mismo no resultará tan beneficioso puesto que ya se han producido los procesos bioquímicos irreversibles que determinarían una baja en los rendimientos.

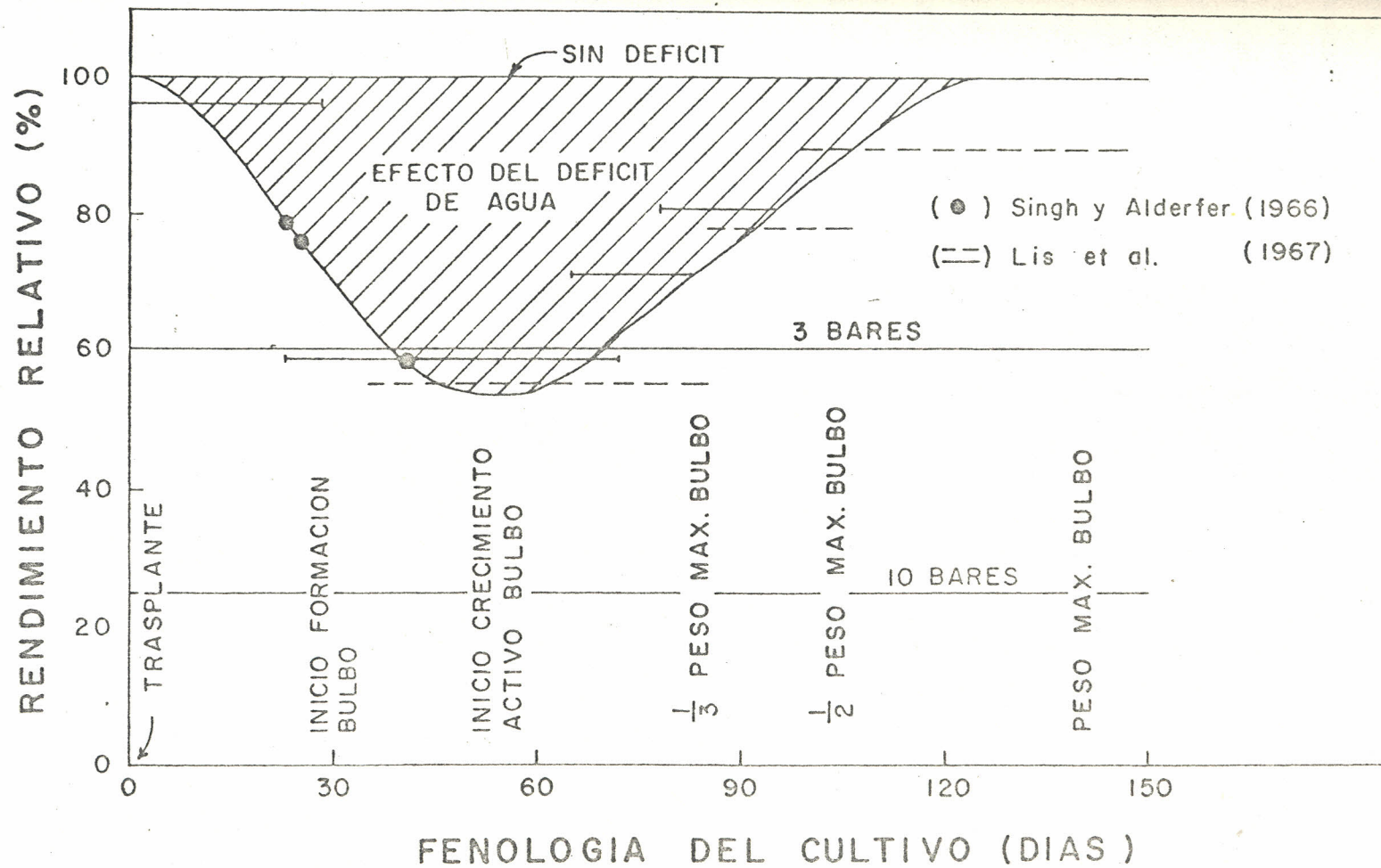


Figura 6. Efecto del déficit fenológico de agua sobre el rendimiento relativo de cebolla.



## b. Papas

En la Figura 7 se presenta la relación entre rendimiento relativo y el potencial matricial del suelo al cual se aplicaba riego en papas. La mayoría de los datos recolectados en la literatura van en la misma curva, excepto la información de Jones y Jonhson (1958) que esta más dispersa, lo cual como se discutió en la descripción de la metodología se debe en gran parte a que próximo al nivel de manejo del riego pre-fijado coincidió con parte del período crítico provocando una disminución extra en el rendimiento. Doorenbos y Pruitt (1975) manifiestan que la papa no tiene un período crítico específico, pero sobre el particular la información indica que existe un período crítico, lo cual se discute más adelante.

La Figura 7 muestra que el cultivo de papas es más sensitivo a la falta de agua que todos los cultivos antes discutidos. Para obtener el rendimiento potencial es necesario manejar el riego a aproximadamente -0,3 bares de potencial matricial. Un 90% de rendimiento se obtiene con -0,65 bar, 80% con -1,1 bar, 70% con -1,6 bares, 60% con -2,0 bares y 50% del rendimiento potencial cuando se maneja el riego a un nivel de -2,5 bares.

La información sobre el efecto del déficit único de riego en diferentes períodos del ciclo fenológico es abundante y Salter y Goode (1967) presentan un buen resumen.

Datos de Claypool y Morris (1932) indican que una reducción de 50% en el rendimiento se produce cuando no se riega después de la formación del tubérculo.

Jones y Jonhson (1958) encontraron que déficits de agua provocados en la primera parte del ciclo fenológico producía un efecto menor que cuando el déficit se producía en el período de crecimiento de los tubérculos.

Salter y Goode (1967) analizando la información pertinente llegan a la siguiente conclusión. Para obtener buenos rendimientos y calidad de papas se requiere riego adecuado desde la iniciación de la for-

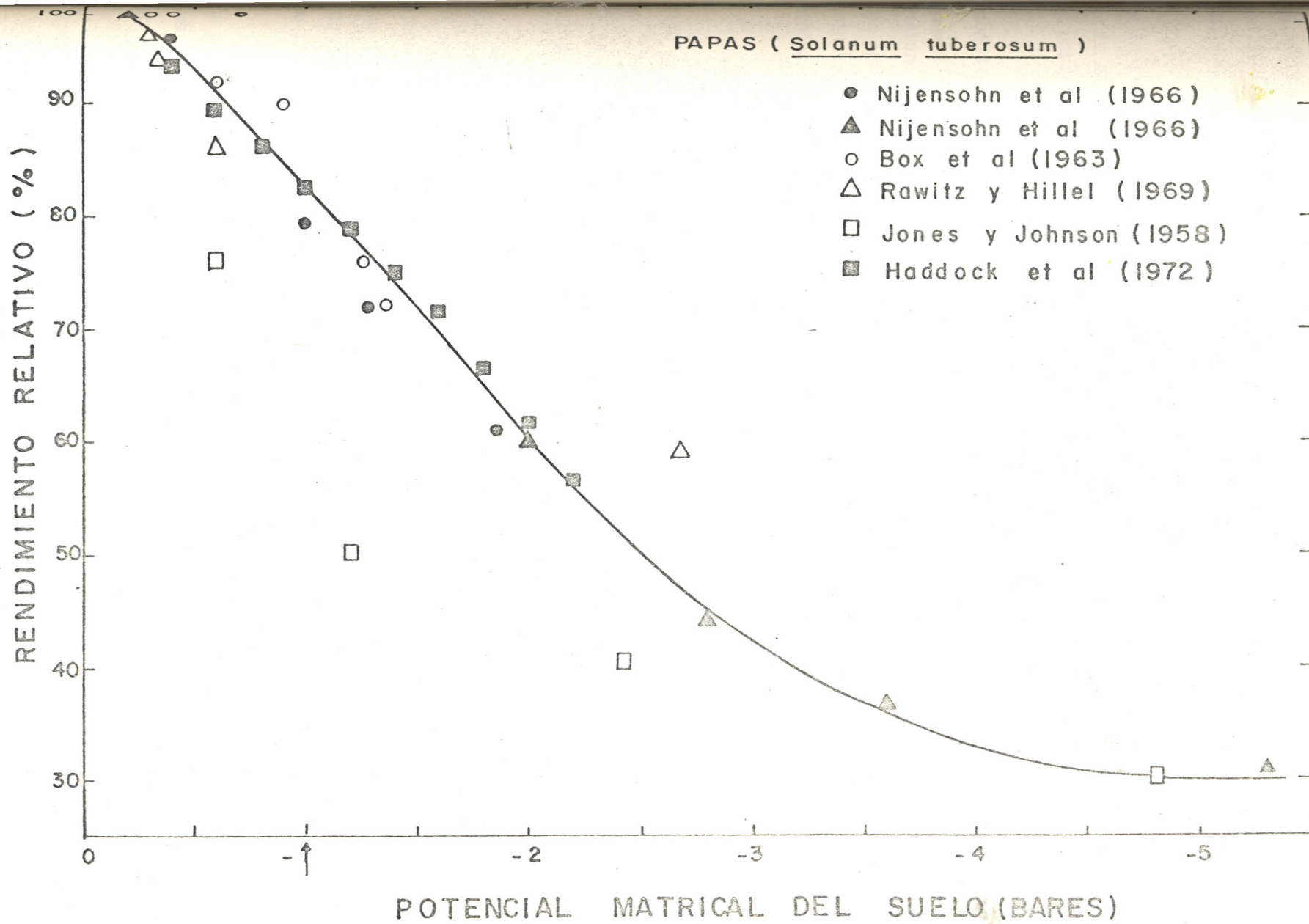


Figura 7. Rendimiento relativo de papas en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

nación del tubérculo. Lo anterior contrasta con los resultados de Lis et al. (1964) que indican que el período de estolones a inicio de formación del tubérculo es el período más crítico. La diferencia puede estar en la calidad del producto, que es una condición del primer caso.

Salter y Goode (1967) también concluyen que riego adecuado antes de la iniciación de la formación de los tubérculos produce un mayor número de tubérculos por planta, mientras que un riego adecuado después de este período aumenta el tamaño de los tubérculos.

En la Figura 8 se muestra el rendimiento relativo de papas en función de la fenología del cultivo cuando se impusieron déficits únicos de riego en determinados períodos del ciclo. La información tanto de rendimiento como fenología, corresponde a Lis et al. (1964). Estos resultados indican que el período más crítico al agua es entre el período de estolones a inicio de la formación del tubérculo, donde la falta de riego produce una disminución de 45% en los rendimientos.

### c. Lechuga

En la Figura 9 se muestra la relación entre rendimiento relativo de lechuga y el potencial matricial del suelo al cual se aplicaba riego. Esta información indica que lechuga es el cultivo más sensitivo a la falta de agua, comparado a los niveles de otros cultivos para obtener similares rendimientos.

De acuerdo a la información de la Figura 9, confeccionada a partir de los datos de Fisher y Hagan (1965) y Bierhuizen y Vos (1959), para obtener el rendimiento potencial sería necesario mantener el nivel de riego del suelo en  $-0,15$  bar, mientras que los datos de Vissar (1959) y Pew (1958) indican un potencial matricial de  $-0,5$  bar para obtener rendimiento máximo. La Figura 9 indica que un rendimiento de 80% del potencial se obtendría manejando el riego a nivel de  $-0,5$  bar y 60% con  $-1,1$  bar.

Como en la mayoría de los cultivos hortícolas, y especialmente la producción máxima de lechuga se obtiene cuando se mantienen condiciones óptimas de humedad en el suelo durante todo el ciclo fenológico (Salter y Goode, 1967). Los riegos únicos y diferidos a través del ciclo

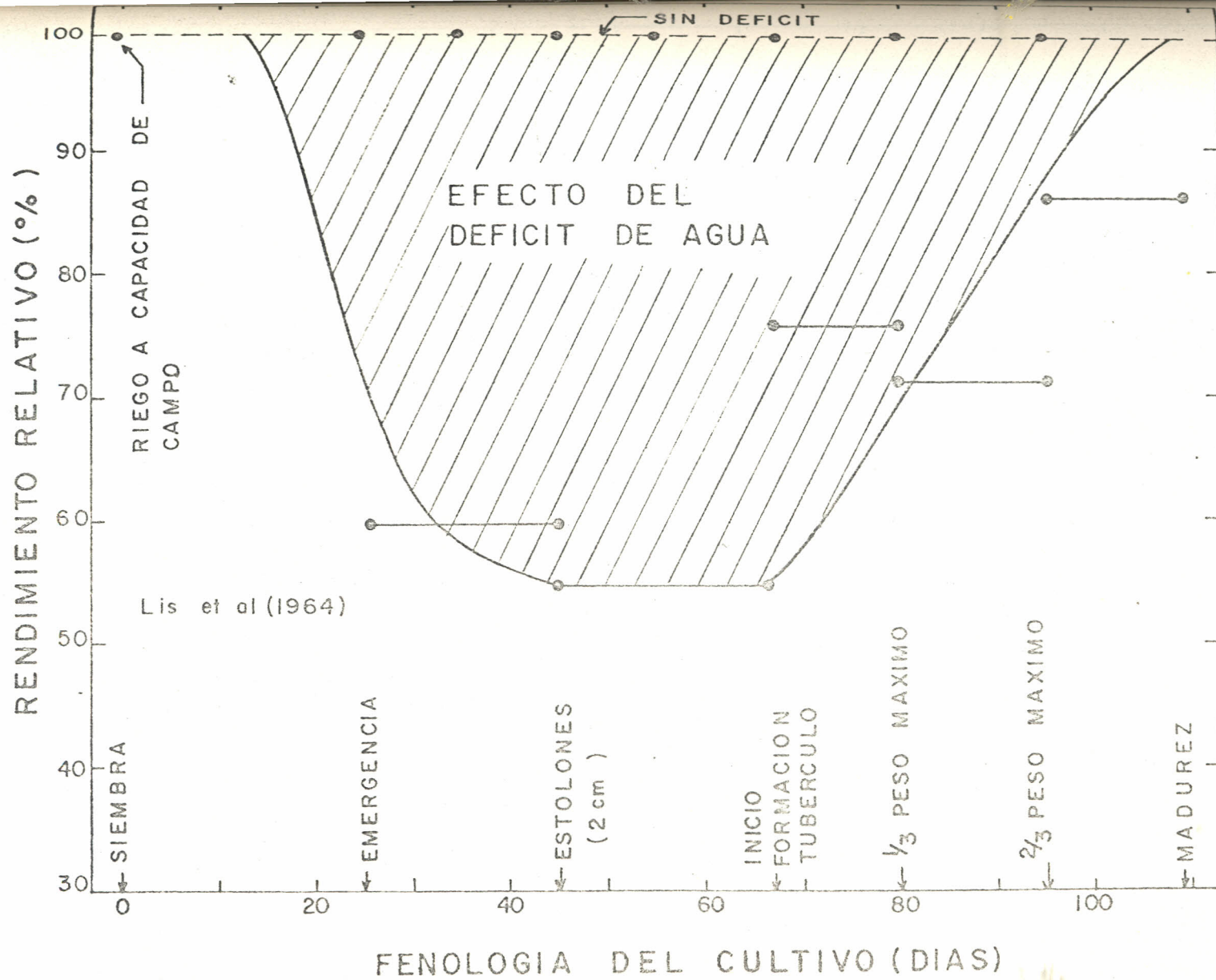


Figura 8. Efecto del déficit fenológico de agua sobre el rendimiento de papas.

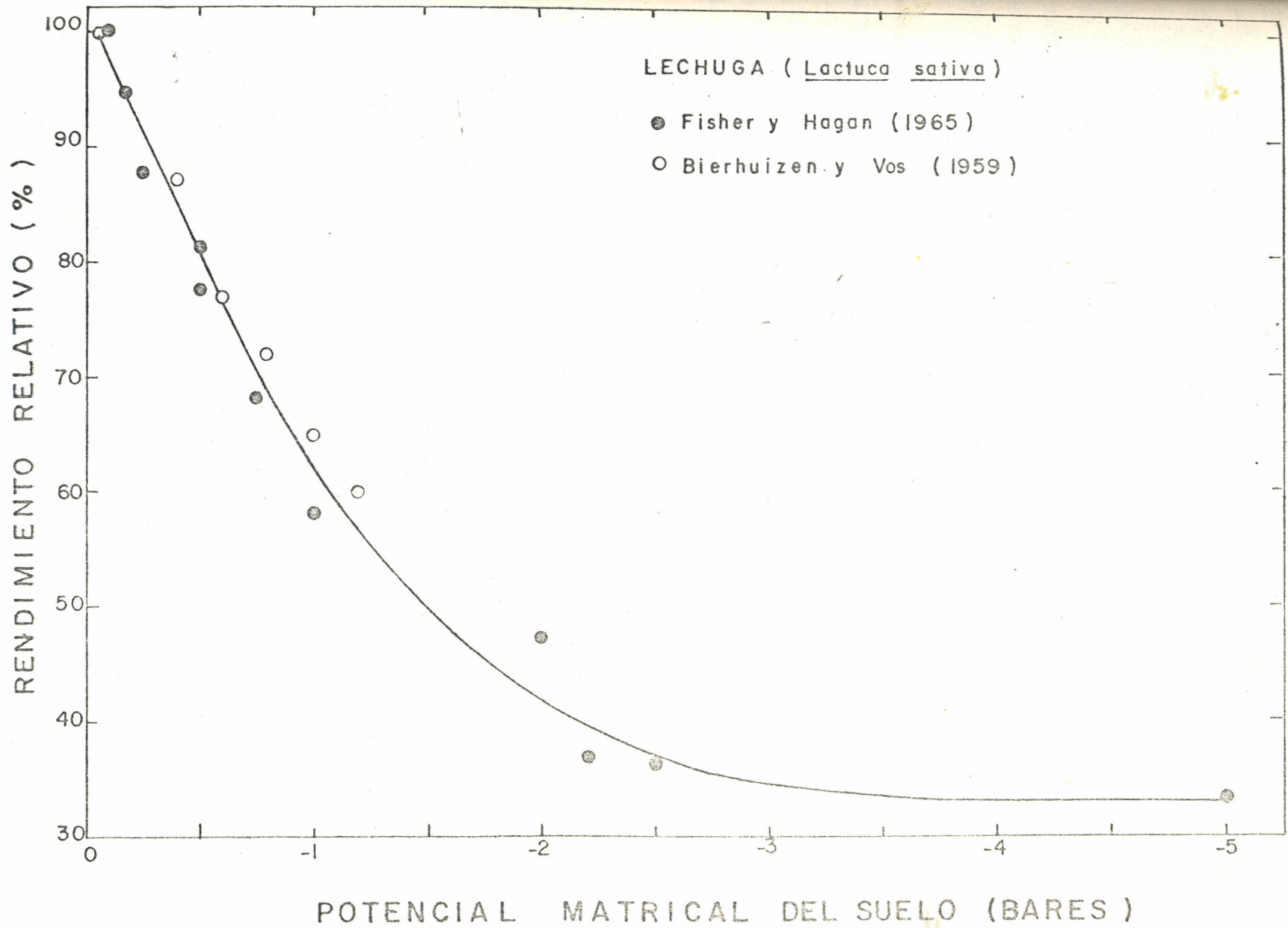


Figura 9. Rendimiento relativo de lechuga en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

producen cabeza más pequeñas y mayor porcentaje de cabezas desechables, pequeñas, quemadas, etc. La falta de agua en cualquier período del ciclo, especialmente antes de la cosecha, favorece la producción de cabezas con hojas quemadas (Salter y Goode, 1967).

Los resultados de experimentos realizados en Alemania citados por Salter y Goode (1967) sugieren que un adecuado abastecimiento de agua es necesario en las últimas 3 semanas antes de la cosecha. Los resultados de Singh y Alderfer (1966) indican que el mayor efecto del déficit de agua sobre los rendimientos se produce durante el período de formación de la cabeza, lo que concuerda con la información anterior.

En la Figura 10, basada en información de Nelson (1962) y Singh y Alderfer (1966) se muestra el efecto de riegos únicos y diferidos sobre el rendimiento de lechuga. También se incluye información para repollo, otra especie productora de hojas. El ciclo fenológico corresponde al descrito por Singh y Alderfer (1966). Se concluye que la falta de riego causando déficit en el período de la formación de la cabeza produce una disminución de aproximadamente 45% en los rendimientos.

#### d. Otros Cultivos

En las Figuras 11, 12 y 13 se presenta la relación entre rendimiento relativo y potencial matricial del suelo para tomate, porotos verdes, y melón, respectivamente. Los potenciales matriciales a los cuales se debe manejar el riego para máximo rendimiento en estos cultivos son  $-0,5$ ,  $(-0,4$  a  $1,0)$ , y  $-0,5$  bar, respectivamente.

Para obtener 90% del rendimiento potencial se debe manejar el riego a  $-2,0$  bares para tomate,  $-2,4$  bares para porotos verdes y  $-2,2$  bares para melón, para obtener 80% los potenciales matriciales de manejo son  $-3,3$ ,  $-3,3$ , y  $-3,6$  bares, respectivamente. La respuesta de estos cultivos al déficit de agua es similar, y de acuerdo a los resultados permiten un manejo de riego más adecuado a la metodología tradicional de aplicación de agua.

Con respecto al efecto de déficits únicos de agua en períodos

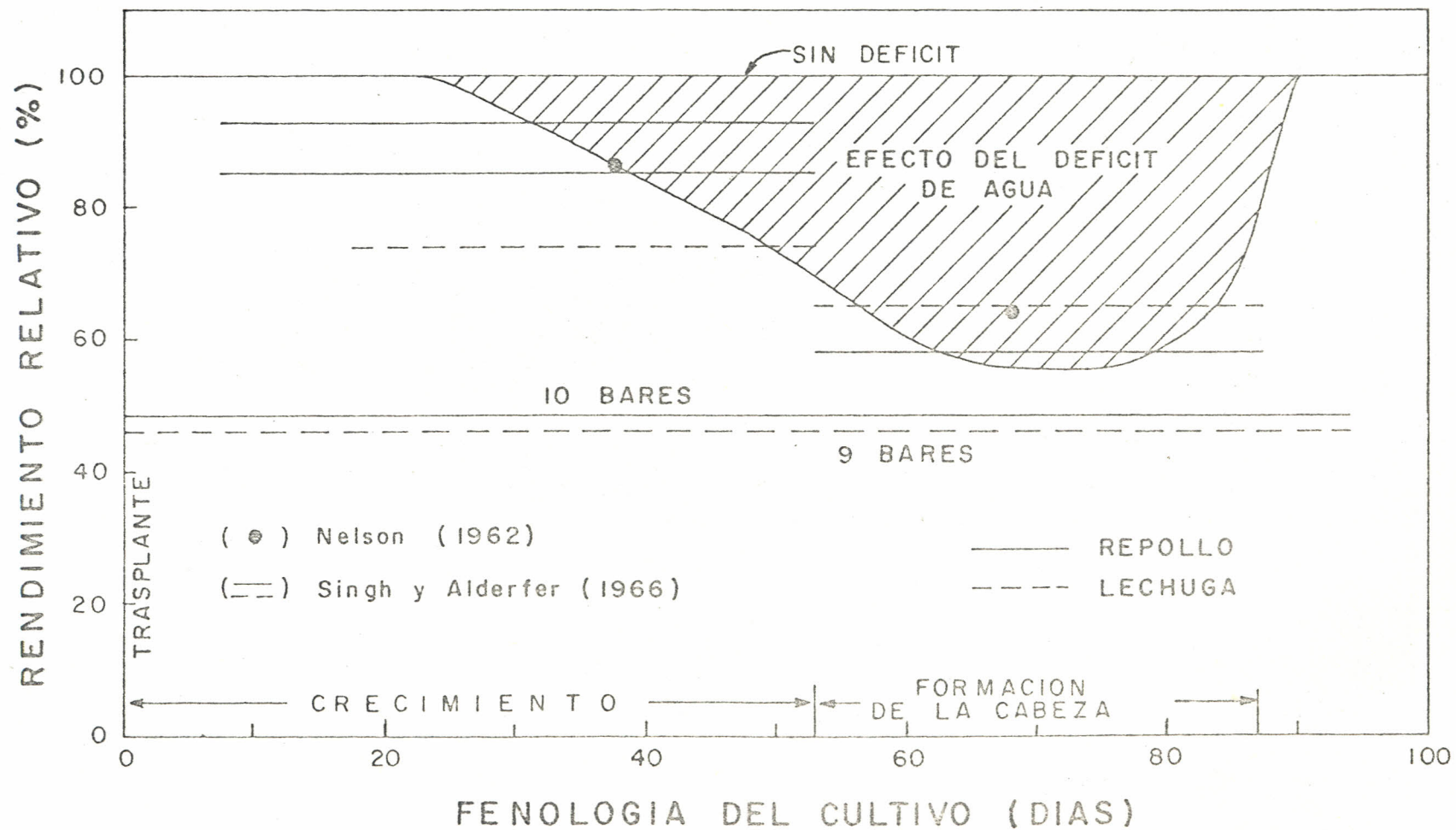


Figura 10. Efecto del déficit fenológico de agua sobre el rendimiento de lechuga y repollo.

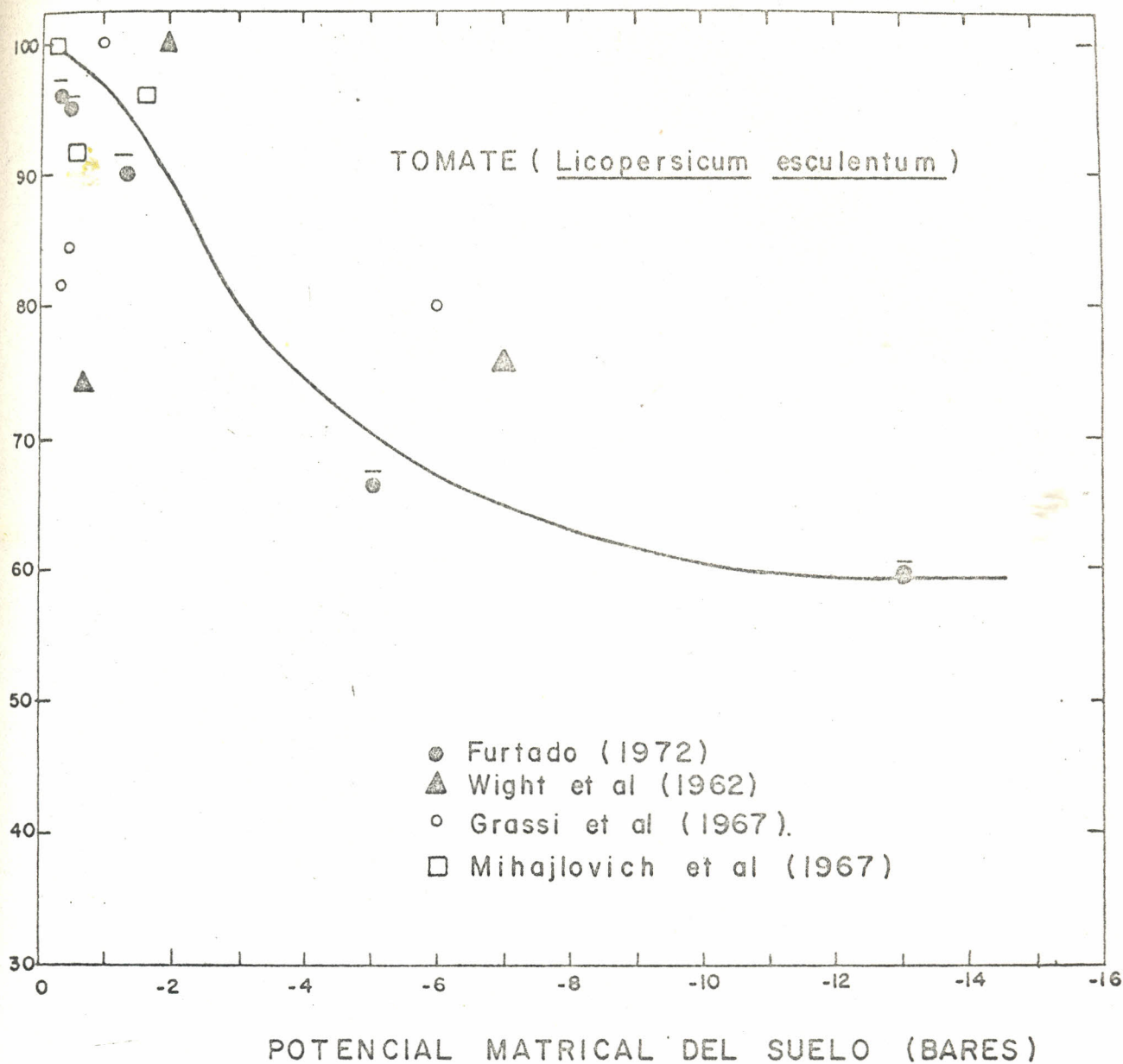


Figura 11. Rendimiento relativo de tomate en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.



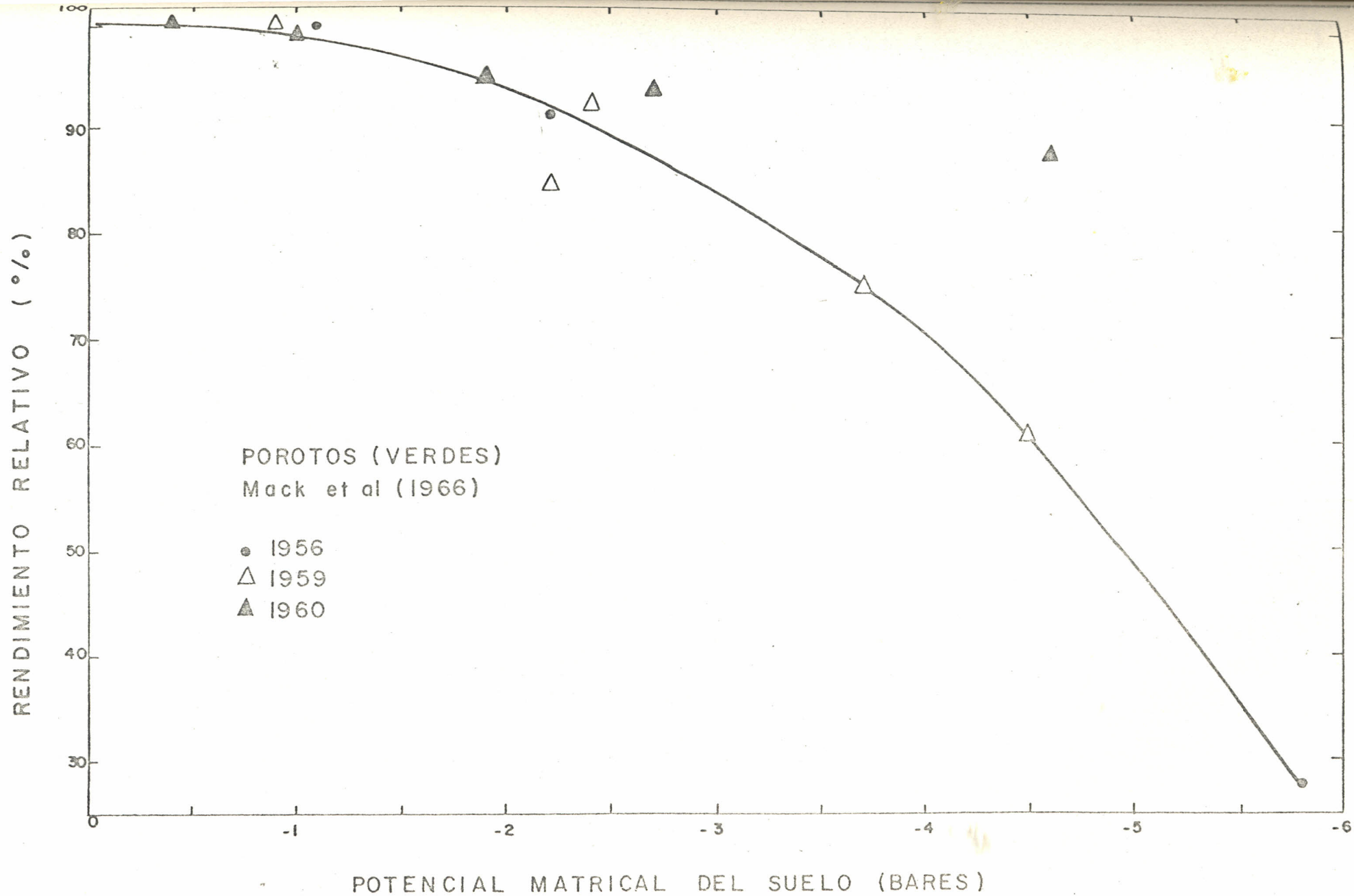


Figura 12. Rendimiento relativo de porotos verdes en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

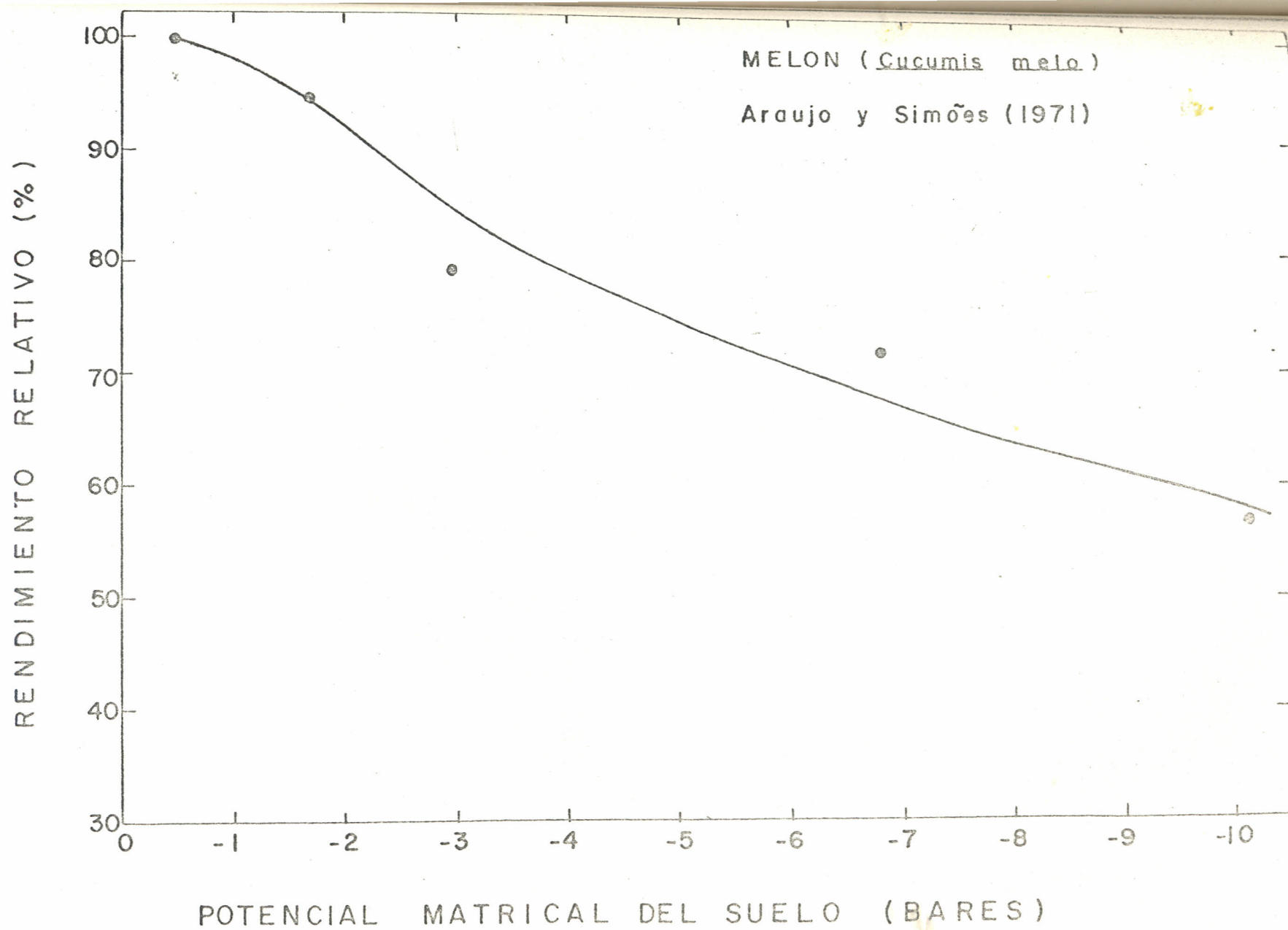


Figura 13. Rendimiento relativo de melón en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

específicos del ciclo fenológico del cultivo, estos responden de manera diferente. En tomate, Huguet (1961) encontró que existen dos períodos sensibles a la falta de agua, durante la formación de las flores, y durante el crecimiento rápido de los frutos. Por otra parte, Vittum et al. (1963) encontró que el riego temprano aumentaba el tamaño y vigor de las plantas, y cuaje, mientras que el riego en la última parte del ciclo, aumentaba el tamaño del fruto y rendimiento. Salter y Goode (1967) analizando la información existente concluyen que el tomate es más sensitivo al déficit de agua desde el comienzo del cuaje del fruto hasta madurez.

Respecto a la respuesta del melón al riego único y diferido no se tiene mucha información. Azzi, citado por Salter y Goode (1967) encontró que el melón requiere riego adecuado hasta que el fruto alcanza su tamaño máximo, después del cual corte del riego es necesario para madurez y evitar rajaduras.

Salter y Goode (1967) analizaron la información pertinente para porotos y concluyen que la falta de agua durante el período de floración y desarrollo produce una marcada reducción en los rendimientos, lo cual se debe a la caída de flores y capis (Bierhuizen y Vos, 1959). Los resultados de Robins y Domingo (1956) indican que los déficits de agua previo a floración reducen el número de capis, cuando se produce durante la floración reduce el número de capis y número de granos por capis, y si sucede antes de la cosecha reduce el peso por grano.

Este autor no encontró datos experimentales para tomate, melón y porotos que le permitieran trazar las relaciones del efecto de los déficits fenológicos sobre el rendimiento relativo en diferentes períodos del ciclo, lo cual permite, además de precisar la extensión del período crítico, cuantificar el efecto del déficit fenológico sobre los rendimientos. Lo anterior no implica que no existan y tan sólo el hecho de no tener acceso a toda la información pertinente.

#### 4. Forrajeras

La información recolectada sólo permitió conformar la relación en

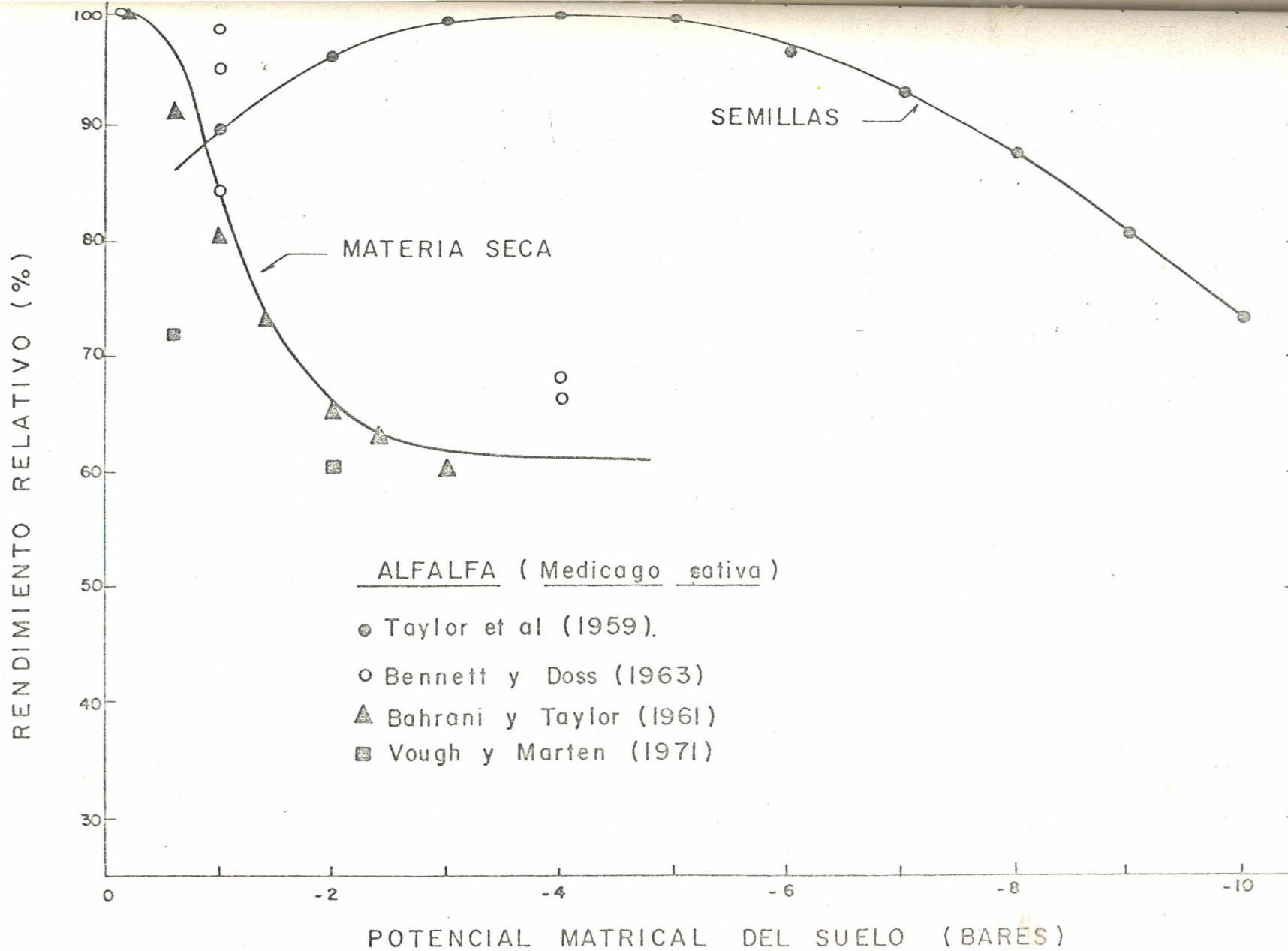


Figura 14. Rendimiento relativo de alfalfa (semillas y materia seca) en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

### c. Pastos anuales

La información de la Figura 16, aunque reducida indica que el rendimiento potencial de pastos anuales se obtiene manejando el riego a un nivel de aproximadamente  $-0,4$  bares de potencial matricial. El 90% del rendimiento potencial se obtendría manejando el riego a  $-1,0$  bar, 80% a  $-1,75$  bares, 70% a  $-3$  bares, y 60% a  $-4,25$  bares.

### d. Pastos perennes

La Figura 17 reúne la información recolectada para festuca, falaris y pasto ovilla. Se observa que el rendimiento potencial puede obtenerse manejando el riego entre  $-0,25$  y  $-1,0$  bar. El 90% del rendimiento potencial se obtendría manejando el riego a  $-2,75$  bares, 80% a  $-3,75$  bares, y 70% a  $-4,6$  bares. De esta información se concluye que los pastos perennes son menos sensibles al déficit de agua, permitiendo un manejo más fácil y adecuado del riego.

Según Blasser et al. (1952), los pastos una vez establecidos son menos vulnerables a los excesos y deficiencias de agua que las especies leguminosas (alfalfa, trébol). Los pastos pueden soportar severas deficiencias debido a que poseen estolones auxiliares, los cuales están bajo la superficie del suelo donde son protegido contra la desecación, y porque durante los períodos secos están en dormancia. También se ha encontrado que los pastos pueden soportar bien las condiciones adversas de humedad cuando están bien provistos de nitrógeno (Low y Armitage, 1959).

En general, el análisis de los resultados encontrados lleva a conclusiones que contrastan con las derivadas por Salter y Goode (1967) quienes establecen que "la tasa de crecimiento y rendimiento de los pastos depende de un continuo aporte de agua a bajas tensiones". Agregan, además, que "no hay succión determinada a la cual se reduce la tasa de crecimiento de los pastos".

La información analizada en este trabajo permite concluir que los pastos soportan déficit de agua, y que manejando el riego a niveles de potenciales matriciales entre  $-2$  y  $-4$  bares se obtienen rendimientos de

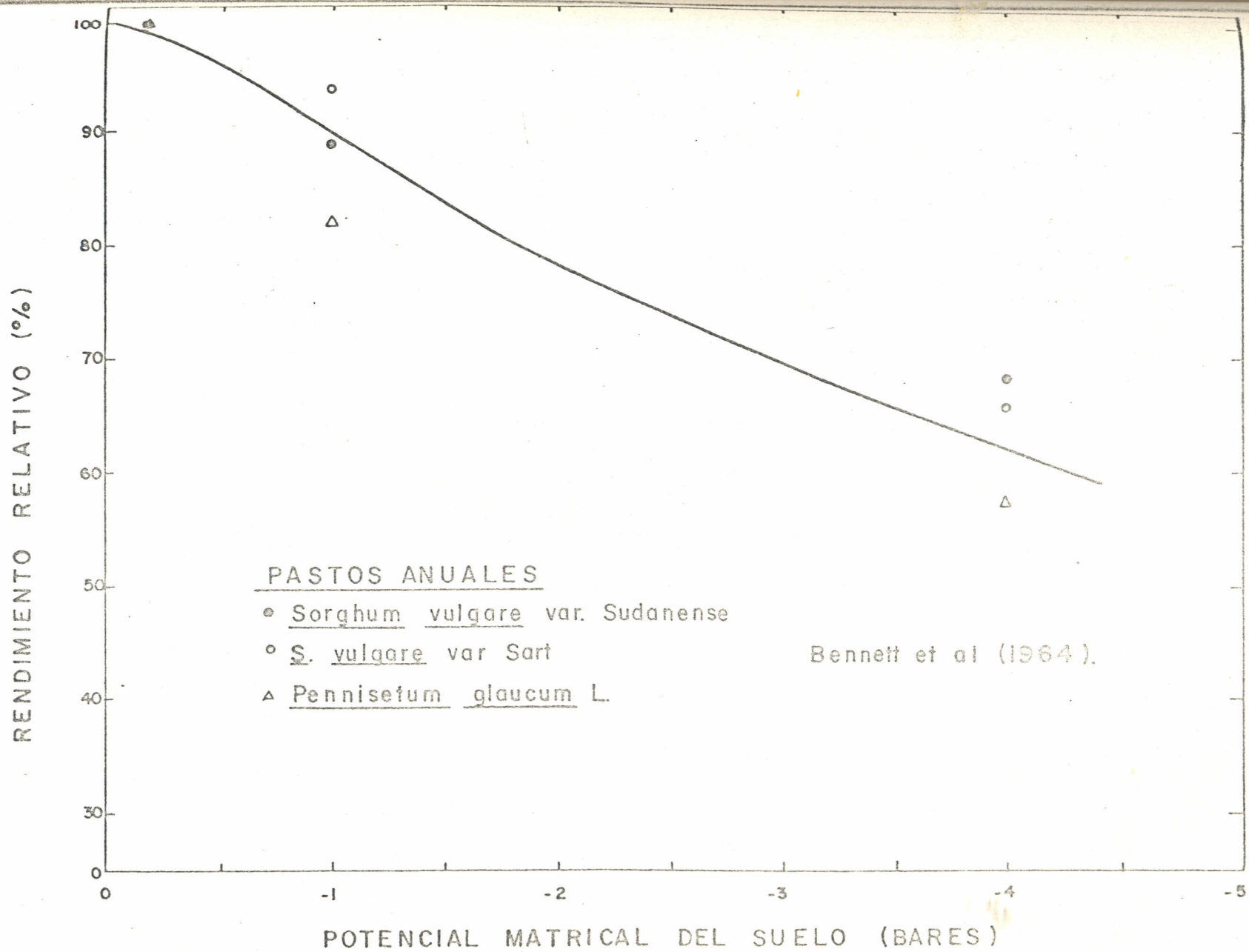


Figura 16. Rendimiento relativo de pastos anuales en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

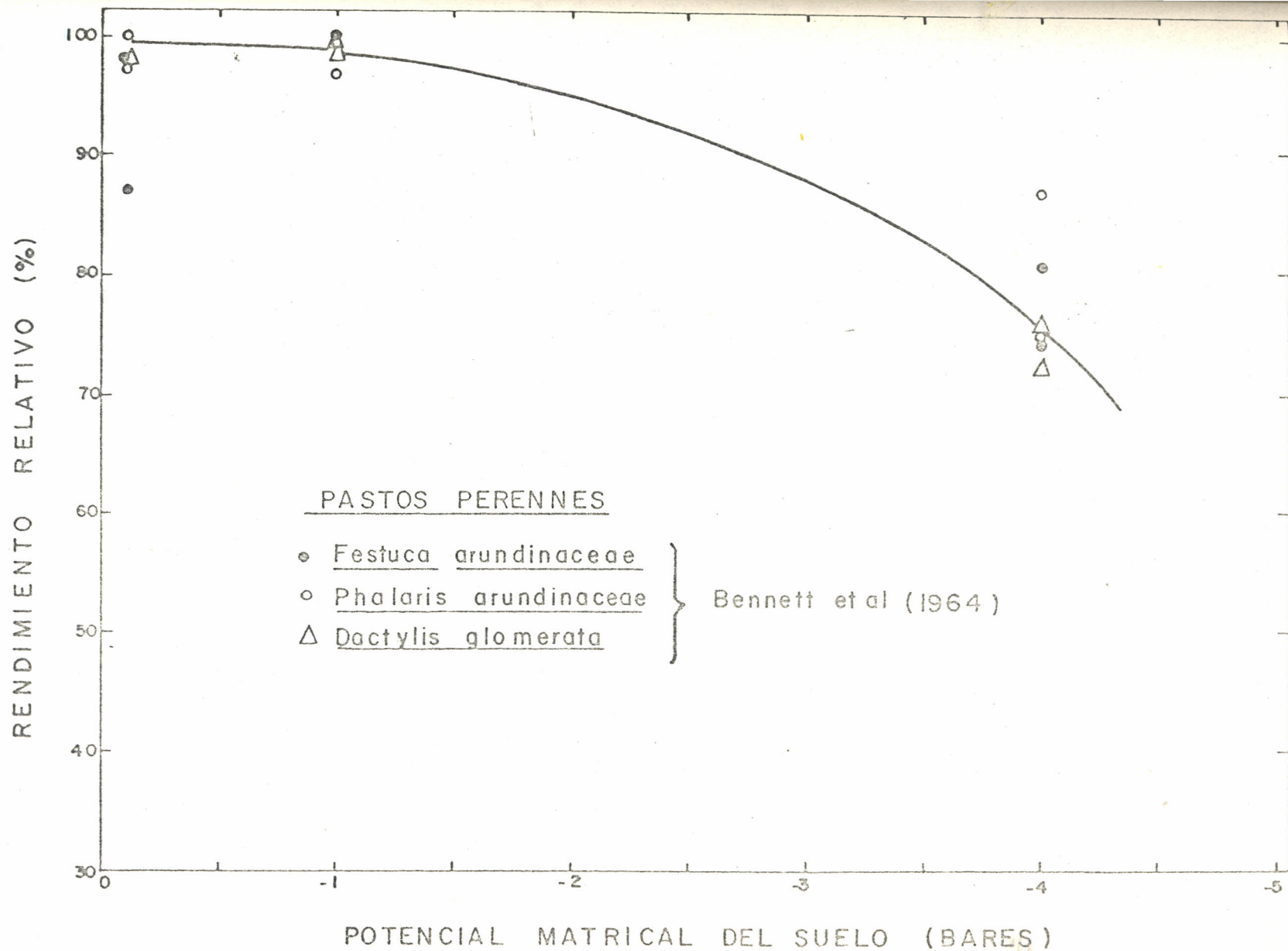


Figura 17. Rendimiento relativo de festuca, falaris y pasto ovillo, en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

aproximadamente 80% del rendimiento potencial.

Se estima que a alrededor de esta producción es posible obtener con la metodología tradicional de aplicación del agua de riego. Las regiones de mayor demanda requerirán una frecuencia de aplicación mayor, lo cual puede imposibilitar el manejo del riego para mayores rendimientos.

##### 5. Plantas industriales

Al no contar con información para un gran número de cultivos, se presenta la situación del algodón el cual se ha colocado en los planes de explotación de perímetros irrigados del Noreste de Brasil pero que dadas sus características peculiares posibilita su producción en condiciones de secano, manejando las épocas de siembra para obtener un mayor beneficio de la lluvia.

En la Figura 18 se muestra la relación entre rendimiento relativo y potencial matricial del suelo al cual se manejó la aplicación del riego. Se observa que se puede obtener rendimiento hasta aproximadamente 90% del potencial manejando el riego a -5 bares 80% a -7.5 bares y 70% a -10 bares. Lo anterior está indicando que algodón es un cultivo resistente a la sequía.

En la Figura 19 se muestra el efecto de déficit únicos de agua en algunos períodos del ciclo fenológico sobre el rendimiento relativo de algodón. Se observa que desde el inicio al término de la floración es el período más crítico a la falta de agua, provocando aproximadamente 40% de reducción en los rendimientos. Un déficit de agua entre el término de la floración y madurez de los capullos tempranos provoca un 25% de reducción en los rendimientos.

La información anterior indica que el algodón es un cultivo que puede manejarse perfectamente en condiciones de secano, haciendo un uso eficiente de la distribución o concentración de lluvias.

##### 6. Cuadro - resumen de la respuesta de los cultivos al manejo de riego

En la Tabla 3 se presenta un cuadro-resumen de los diferentes cul



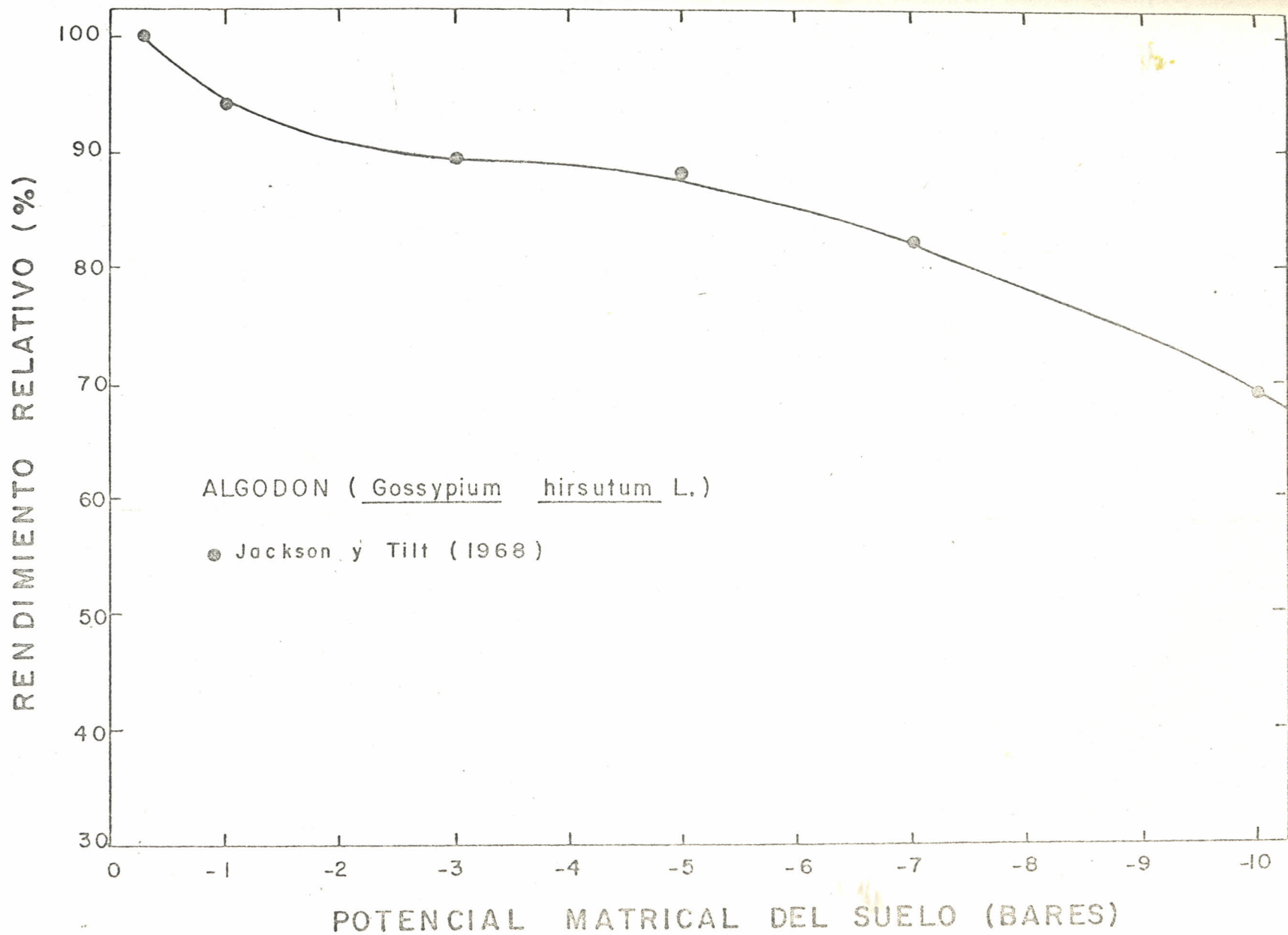


Figura 18. Rendimiento relativo de algodón en función del potencial matricial del suelo al cual se aplicó riego.

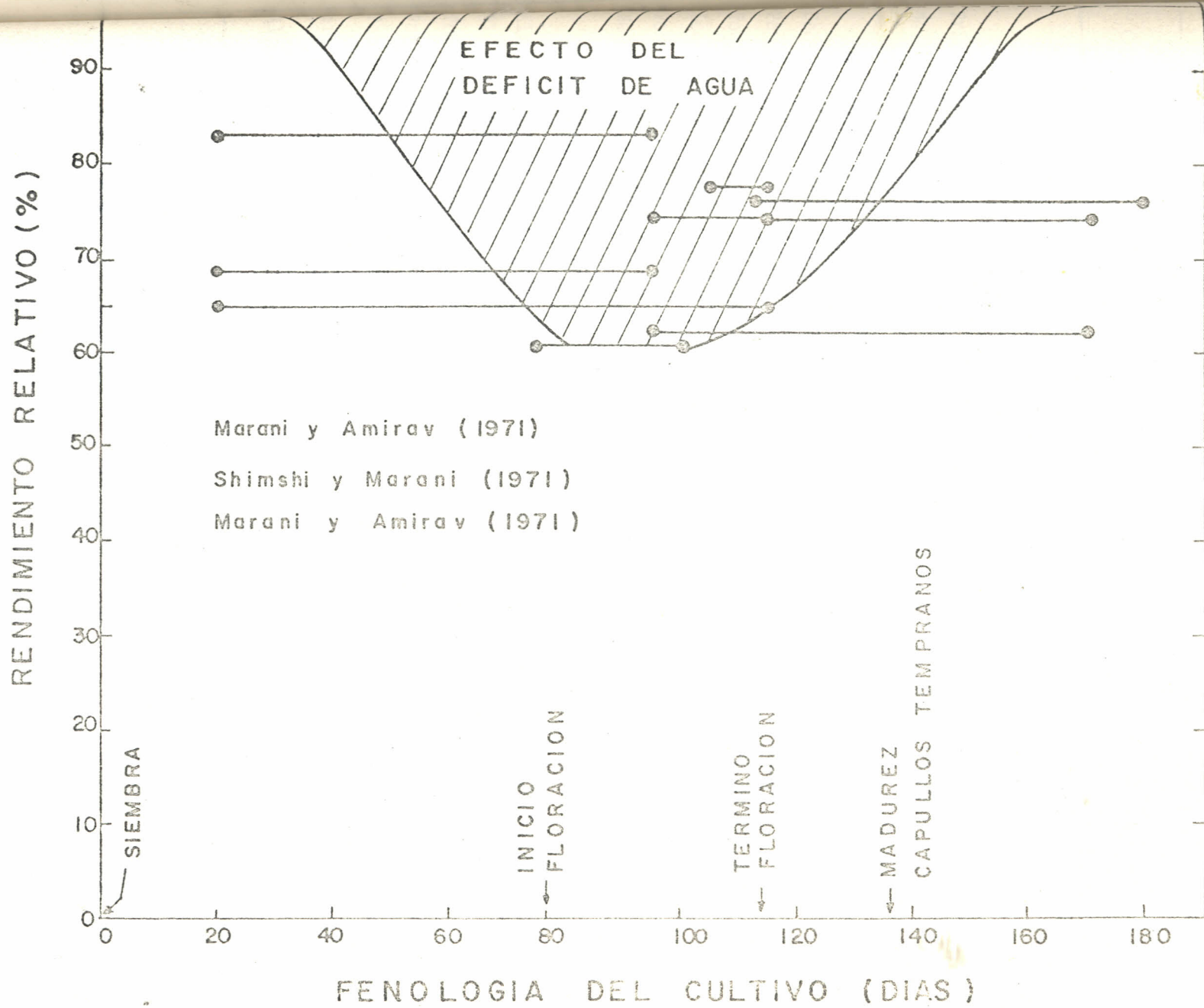


Figura 19. Efecto del déficit fenológico de agua sobre el rendimiento relativo de algodón.

Tabela 3. Nivel de producción de diferentes cultivos cuando manejados al nivel de riego indicado en términos de potencial matricial del suelo.

Cultivo	Nivel de Producción (%)					
	Potencial	90	80	70	60	50
Potencial matricial del suelo (bares)						
<u>Cereales</u>						
Trigo (Cebada)	-0,50	-1,75	-3,2	-4,6	-6,3	-8,5
Maíz	-0,50	-0,90	-1,6	-2,4	-3,4	-4,9
<u>Hortalizas</u>						
Cebolla	-0,50	-1,6	-2,1	-2,9	-3,7	-5,0
Papas	-0,25	-0,65	-1,1	-1,6	-2,0	-2,5
Tomate	-0,50	-2,0	-3,0	-5,0	-10,0	-
Lechuga	-0,15	-0,3	-0,5	-0,75	-1,1	-1,5
Porotos (verdes)	-0,40	-2,4	-3,3	-4,0	-4,5	-4,95
Melón	-0,50	-2,2	-3,6	-6,0	-9,5	-
<u>Forrajeras</u>						
Alfalfa (matéria seca)	-0,40	-0,9	-1,15	-1,65	-(3-4)	-
Alfalfa (semillas)	-(4-5)	-7,5	-9,1	-(10-11)	-	-
Trébol (materia seca)	-0,50	-2,15	-3,1	-4,0	-5,0	-
Pastos anuales	-0,40	-1,0	-1,75	-3,0	-4,25	-
Pastos perennes	-(0,25-1,0)	-2,75	-3,75	-4,6	-	-
<u>Plantas industriales</u>						
Algodón	-0,60	-2,5	-7,5	-9,75	-	-

tivos discutidos anteriormente mostrando el nivel de producción que se obtiene cuando se maneja el riego al nivel indicado de potencial matricial en el suelo.

De este cuadro se deduce que existen plantas cuyos rendimientos son mas afectados que otras por el nivel de manejo de riego. Formando una escala de sensibilidad a la falta de agua, tenemos:

Lechuga > Papas > Alfalfa(matéria seca) > Maíz

Por otro lado una escala para los cultivos en que la falta de agua presenta menor efecto (mas resistentes) en los rendimientos, sería la siguiente:

Alfalfa(semillas) > Algodón > Melón > Tomate > Trigo

La información de la Tabla 3 indica que la producción de cultivos como alfalfa para semillas y algodón podría ser manejada en condiciones de secano. La información de períodos críticos podría usarse en combinación con la distribución de lluvias. En aquellas regiones donde la pluviometría se concentra en determinados períodos, sería posible manejar la época de siembra de los cultivos con el objeto de hacer coincidir el período crítico del cultivo con aquel período donde el análisis de datos de lluvia muestra más de un 75% de probabilidad de recibir una lámina de agua significativa, que reemplazaría al riego suplementar.

## II. Balance de agua, nivel de producción y frecuencia de riego

Con la finalidad de probar con un ejemplo práctico de como sería la situación de manejo del riego en una región semi-árida, se realizó un balance de agua para los dos suelos de mayor importancia, Latosol y Vertisol, del Valle de São Francisco en el Noreste de Brasil.

Se supusieron diferentes extracciones constantes de agua de un perfil de 40 cm del suelo y mediante el uso de las curvas de retención de agua se definió la variación en el potencial matricial como producto de la extracción. En la Figura 20 se muestra el balance de agua para el Vertisol en función del tiempo después de aplicado el riego. La Figura

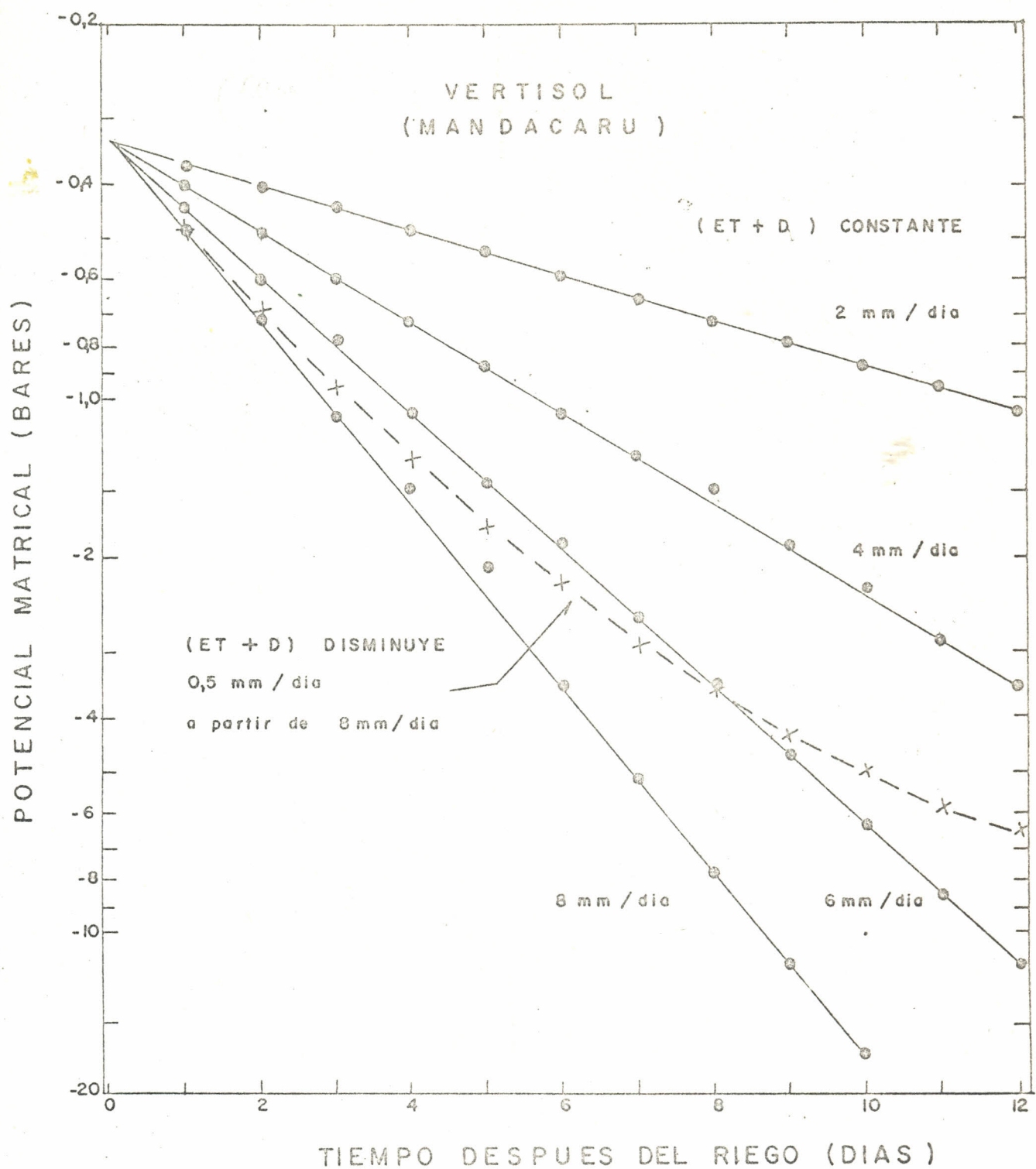


Figura 20. Variación del potencial matricial del suelo Vertisol en función del tiempo después del riego para diferentes patrones de extracción de agua.

21 presenta la misma situación para el Latosol.

Con la información de la Tabla 3, inferida de la relación entre rendimiento relativo y potencial matricial para los diferentes cultivos, se determinó la frecuencia de riego que sería necesaria en estos suelos para obtener un determinado nivel de producción. Se consideraron en el análisis, los cultivos más comunes en la región, a las cuales se les asignó un padrón de extracción de agua (ET) común para una región semi-árida cuando el cultivo cubre totalmente el suelo.

La situación de manejo del riego de alfalfa, maíz, tomate, cebolla, algodón y melón en el Vertisol se presenta en la Figura 22. Se observa que para obtener un mismo nivel de producción de estos cultivos, ejemplo 90%, la frecuencia de riego sería en el siguiente orden:

Alfalfa > Maíz > Cebolla > Tomate > Algodón > Melón

Lo anterior implica que los últimos cultivos son más resistentes a la falta de agua soportando un intervalo de tiempo mayor entre riegos. Como se estableció anteriormente este análisis considera un perfil de 40 cm de suelo donde se concentraría el mayor porcentaje de raíces. Si la densidad radicular extrae agua de una profundidad mayor, la situación va a cambiar especialmente en la frecuencia del riego.

En la Figura 23 se muestra la relación entre el nivel de producción y la frecuencia de riego en el Latosol para diferentes cultivos comunes en la región. Se observa que en este suelo es extremadamente crítica la oportunidad de aplicación del riego, especialmente en cultivos muy sensibles a la falta de agua como maíz y papas. En el caso de maíz, la demora de un día en la aplicación de los riegos puede representar una disminución de 30% en el rendimiento. La situación no es muy diferente para los cultivos hortícolas. Este cambio acentuado en la producción ante pequeños cambios en la frecuencia de aplicación de agua se debe principalmente a la forma de la curva de retención de agua del Latosol, lo cual también se manifiesta en el balance de agua de la Figura 21.

La situación anterior no se presenta en el caso del Vertisol (Fi-

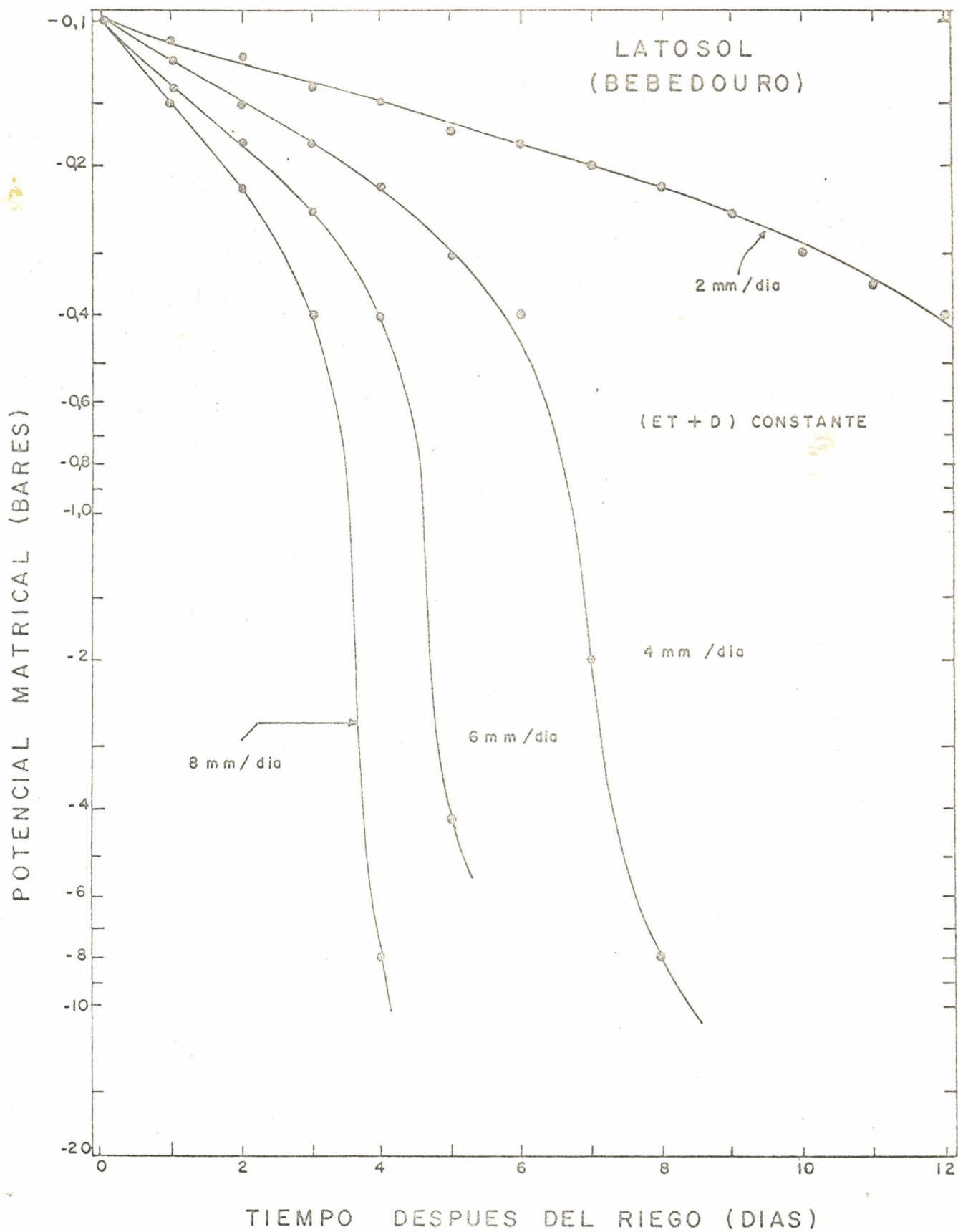


Figura 21. Variación del potencial matricial del suelo Latosol en función del tiempo después del riego para diferentes patrones de extracción de agua.

VERTISOL (MANDACARU)

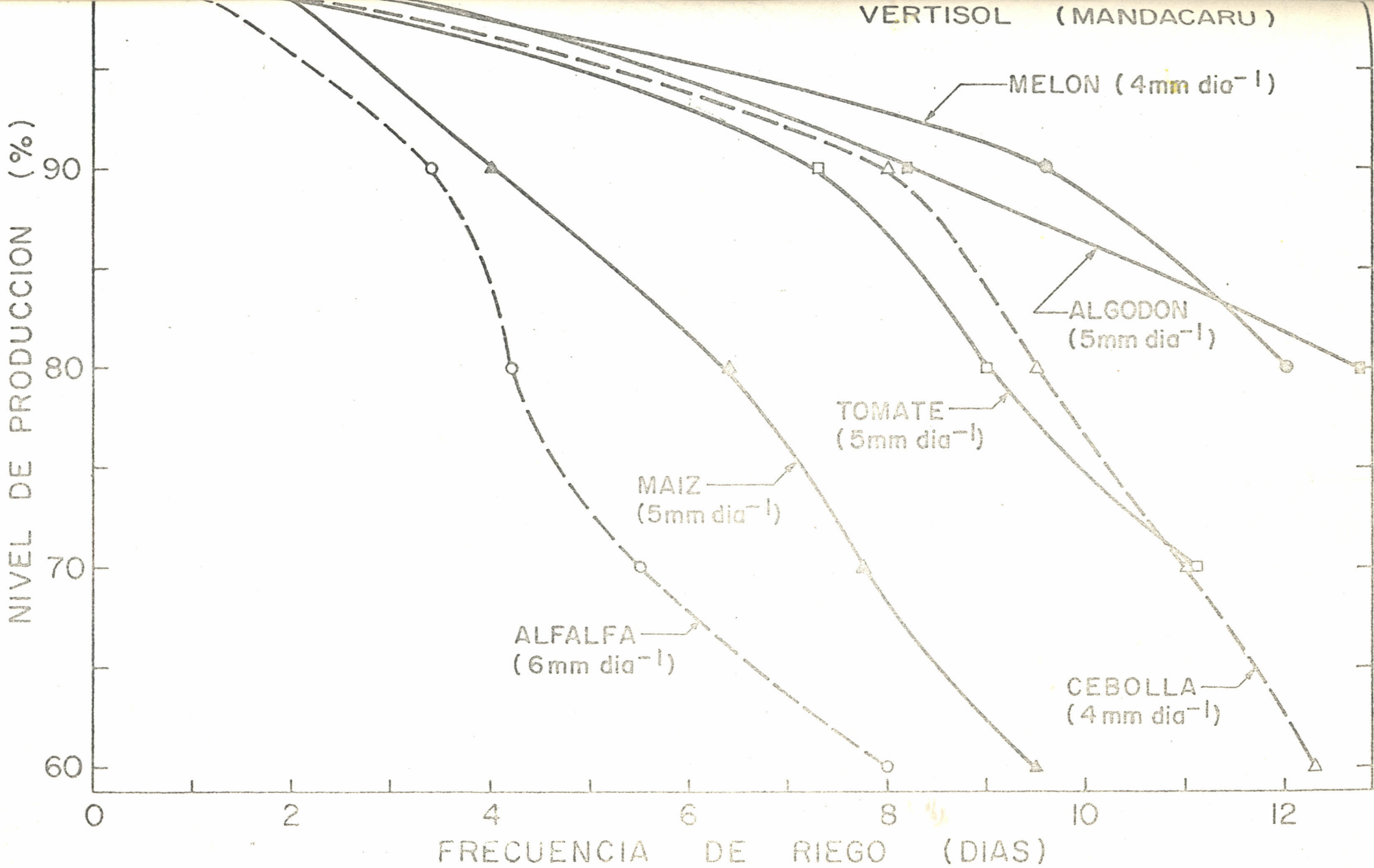


Figura 22. Nivel de producción de diversos cultivos en el suelo Vertisol en función de la frecuencia de riego mantenida a través del ciclo vegetativo.



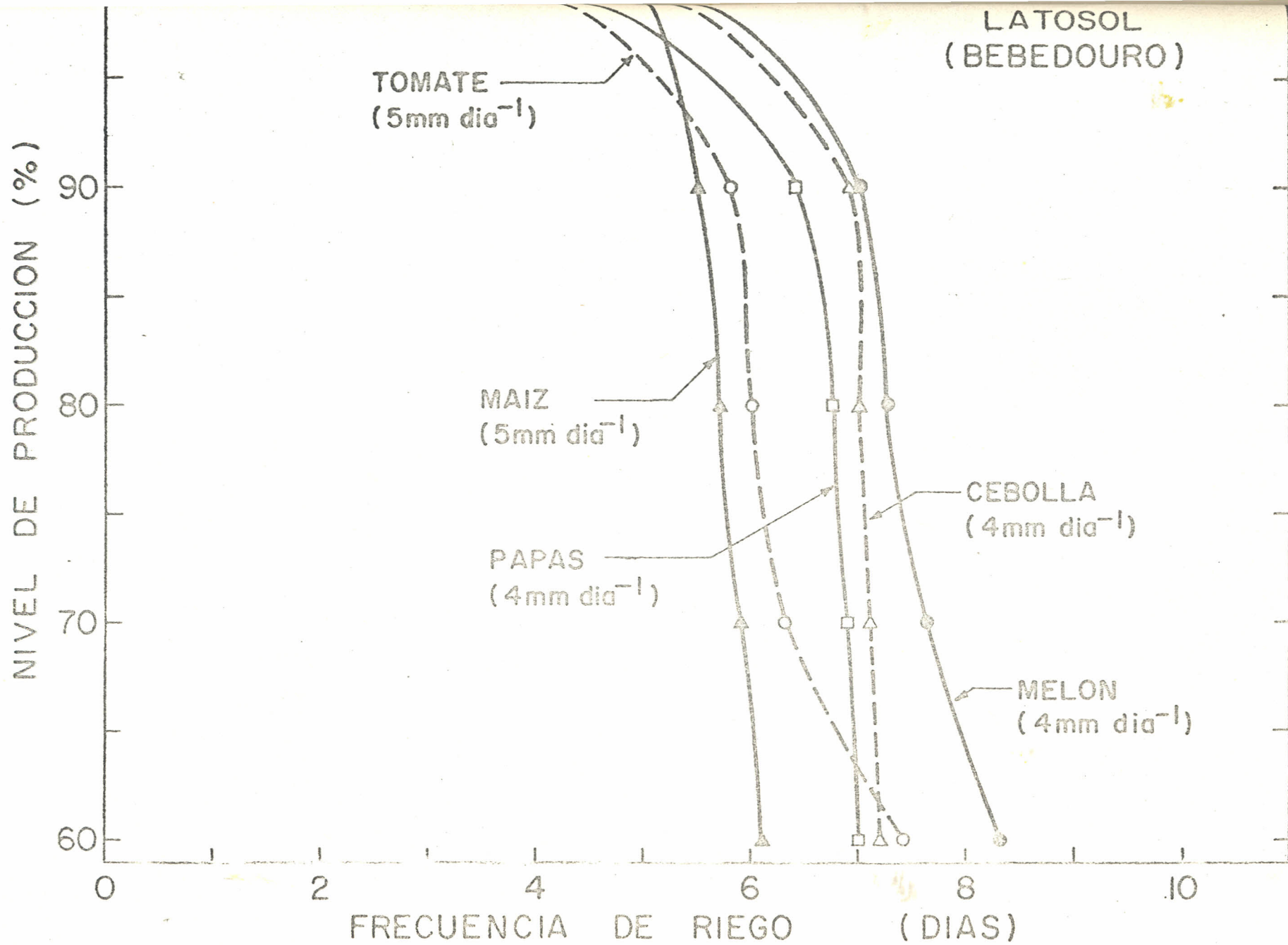


Figura 23. Nivel de producción de diversos cultivos en el suelo Latosol en función de la frecuencia de riego mantenida a través del ciclo vegetativo.

gura 22, donde debido a una curva de retención de agua más normalizada (menos pronunciada), la variación en el intervalo de tiempo entre riegos no afecta tan drásticamente los rendimientos.

De esta información se concluye que para obtener rendimientos cerca del potencial es necesaria una alta frecuencia de riego, lo cual normalmente es imposible de manejar con la metodología tradicional de aplicación de agua a los cultivos. De lo anterior se deduce que sólo con métodos modernos de aplicación, como mediante goteo, se podrá obtener rendimientos a nivel potencial.

En todo caso, la información como procesada presenta un elemento de decisión, al permitir al productor u operador de un proyecto de riego de adecuarse al nivel de producción más acorde con sus posibilidades, representadas principalmente por equipamiento y disponibilidad de mano de obra entrenada. En otras palabras, hay un elemento de decisión para adecuar la producción a la eficiencia de manejo del riego.

Finalmente, aún contando con información reducida para algunos cultivos, el objetivo principal de este trabajo tuvo por finalidad mostrar un sistema de análisis más racional de los resultados experimentales el cual permite cuantificar el efecto del riego sobre el rendimiento de los cultivos.

Para una apreciación global del problema sería interesante que instituciones de ámbito mundial como FAO reuniese la información pertinente para cada cultivo con miras a conformar un manual de manejo de riego basado exclusivamente en el efecto del riego sobre los rendimientos de los cultivos. Dada la representatividad de FAO en todos los países del mundo no sería tarea difícil recopilar los datos del efecto de niveles de humedad sobre los rendimientos en los diferentes cultivos.

La metodología de análisis presentada en este trabajo permite reducir toda la información de diferentes suelos y clima a un denominador común. Este autor estima que un análisis sistemático y bien dirigido de los resultados de la experimentación mundial aportará un beneficio más directo y en mayor escala, ya que la metodología no es restringida por suelos ni clima, que continuar repitiendo experimentos de niveles de humedad.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de los resultados experimentales sobre el efecto del nivel de humedad sobre los rendimientos se concluye que:

1. La información actual, como analizada y presentada cualitativamente en publicaciones, no da un elemento de decisión que permita al productor u operador de un proyecto de riego adecuarse a un manejo racional del riego para obtener un máximo rendimiento real. Lo anterior se debe principalmente a la fijación de niveles óptimos de humedad para obtener rendimientos máximos, y períodos críticos de los cultivos al riego.
2. La obtención de las relaciones entre rendimiento relativo y potencial matricial del suelo, y entre rendimiento relativo y ciclo fenológico (efecto de riegos únicos y diferidos) permiten definir cuantitativamente:
  - a. Reducción del rendimiento a cualquier nivel de potencial matricial entre 0 y -10 bares.
  - b. Reducción del rendimiento en cualquier período del ciclo fenológico del cultivo.
  - c. Nivel de producción real, respecto del potencial, que puede obtenerse bajo determinadas condiciones de demanda atmosférica.
  - d. Frecuencia de riego, en base a la demanda y potencial matricial del suelo, para definir el nivel de producción real a que puede manejarse el riego.
3. Mediante la metodología tradicional de aplicación del agua del riego es imposible obtener rendimiento máximo (potencial) en algunos cultivos, debido a la alta frecuencia de riego.
4. Los rendimientos máximos (potencial) de algunos cultivos sólo se podrán obtener mediante el método de goteo u otro similar.
5. La información para algunos cultivos es insuficiente, y desconocida pa

ra otros, especialmente frutales.

6. Se recomienda que FAO recopile en los diferentes países los resultados experimentales pertinentes para todos los cultivos y se analicen mediante la metodología presentada u otra similar.
7. Se recomienda que los resultados del análisis de los datos recopilados sean publicados por FAO para servir como elementos de manejo del riego en todos los países con áreas irrigadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANONIMO. 1954. How much and when to irrigate. *Farm Management*, n. 32-34.
- ARAÚJO, ANTONIO ROBERTO de e A. JOSÉ SIMÕES. 1971. Efeito da irrigação na produção de melão. Petrolina, PE., Departamento de Recursos Naturais, Divisão de Estudos Integrados. (Relatório Técnico Estação Experimental de Mandacaru).
- ASPINALL, D., P. B. NICHOLLS and L. H. MAY. 1964. The effects of soil moisture stress on the growth of barley. I. Vegetative development and grain yield. *Australian Journal of Agricultural Research* 15:729-745.
- BAHRANI, B. and S. A. TAYLOR. 1961. Influence of soil moisture potential and evaporative demand on the actual evapotranspiration from an alfalfa field. *Agronomy Journal* 53:233-237.
- BENNETT, O.L. and B. D. DOSS. 1963. Effects of soil moisture regime on yield and evapotranspiration from cool-season perennial forage species. *Agronomy Journal* 55(3):275-278.
- BENNETT, O. L., B. D. DOSS, D. A. ASHLEY, V. J. KILMER and F. C. RICHARDSON. 1964. Effects of soil moisture regime on yield, nutrient content, and evapotranspiration for three annual forage species. *Agronomy Journal* 56(2):195-198.
- BIERHUIZEN, J. F. and N. M. de VOS. 1959. The effect of soil moisture on the growth and yield of vegetable crops. Report, Conference on Supplemental Irrigation, Commission VI (Copenhagen). *Int. Soc. Soil Sci. Tech. Bull.* 2:83-92.
- BLASSER, R. E., W. H. SKRDLA and T. H. TAYLOR. 1952. Ecological and physiological factors in compounding forage seed mixtures. *Advances in Agronomy* 4:179-219.
- BOX, J. E., W. H. SLETTEN, J. H. KYLE and A. POPE. 1963. Effect of soil moisture, temperature, and fertility on yield and quality of irrigated potatoes in the Southern Plains. *Agronomy Journal* 55(5):492-494.
- CLAASSEN, M. M. and R. H. SHAW. 1970. Water deficits effects on Corn. II. Yield components. *Agronomy Journal* 62 (5):625-655.
- CLAYPOOL, L. L. and O. M. MORRIS. 1932. Some effects of irrigation upon yield and quality of potatoes produced in the Yakima Valley. *Proceedings of The American Society of Horticultural Sciences* 28:249-252.
- DENMEAD, O. T. and R. H. SHAW. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52:272-273.

- ↓
- COORENBOS, J. and W. O. PRUITT. 1975. Crop water requirements. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
- REW, D. H. 1966. Irrigation studies on summer cabbage. *Journal of Horticultural Science* 41:103-114.
- ERREIRA da COSTA FILHO, J., F. de SOUZA, D. C. KIDMAN e H. O. CARVALLO. 1975. Efeito de níveis de umidade na produção de cebola. Petrolina, PE, EMBRAPA, Centro de Pesquisas do Trópico Semi-Árido (CTSA). (Apresentado no III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza).
- ISHER, R. A. and R. M. HAGAN. 1965. Plant water relations, irrigation management and crop yield. *Experimental Agriculture* 1:161-177.
- MURTADO, JOSÉ e SALIM SIMÃO. 1973. Influencia da umidade do solo na produção do tomateiro. *Boletim Técnico (DNOCS)* 31(2):159-193.
- MARD, L. E., G. E. MCKIRBEN and B. F. JONES. 1961. Moisture loss and corn yields on a silt-pan soil as affected by three levels of water supply. *Soil Science Society American Proceedings* 25:154.
- RASSI, C. J., D. L. MIHAJLOVICH y L. NIJENSOHN. 1967. Respuesta del tomate (CV. Roma) a diferentes regímenes de riego. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA. Serie 2. Biología y Producción Vegetal* 4 (15):269-291.
- ADDOCK, J. L., S. A. TAYLOR and C. H. MILLIGAN. 1972. Irrigation, fertilization, and soil management of crops in rotation. *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.* (In preparation).
- RISE, H. R. and R. M. HAGAN. 1967. Soil, Plant, and evaporative measurements as criteria for Scheduling irrigation. pp. 577-604. In: R. M. Hagan et al. (ed.), *Irrigation of Agricultural Lands*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. (Agronomy Series No 11).
- HAGAN, R. M., M. L. PETERSON, B. F. UPCHURCH and L. G. JONES. 1957. Relationships of soil moisture stress to different aspects of growth in ladino clover. *Soil Science Society of America Proceedings* 21:360-365.
- SNWAY, J. J. 1966. How a corn plant develops. Iowa State University. Special Report NC 48. Iowa State University of Sciences and Technology. Coop. Ext. Serv., Ames, Iowa. ↗
- WTHORNE, L. R. 1951. Studies of soil moisture and spacing for seed crops of carrots and onions. U. S. Dept. Agr. Circ. 892. p. 26.
- WCKEL, P. A. 1964. Physiology of plants under drought. *Annual Review of Plant Physiology* 15:363-386.

- ILDRETH, A. C., J. R. MEGNESS and J. W. MITCHELL. 1941. Effects of climatic factors on growing plants. In climate and man. USDA Yearbook.
- OWE, O. W., and H. F. RHOADES. 1955. Irrigation practice for corn production in relation to stage of plant development. Soil Science Society of America Proceedings 19:94-98. 631.405
- IGUET, C. 1961. Essais d'évaluation des besoins en eau de cultures maraîchères sous climat méditerranéen. Ann. Agron. (Paris) 12:99-107.
- TCHEON, W. L. and D. A. RENNIE. 1960. The relationship of soil moisture stress and nutrient availability to the growth characteristics and quality of wheat. Madison, Wisconsin, 7th International Congress Soil Science IV:488-494.
- CKSON, E. B. and P. A. TILT. 1968. Effects of irrigation intensity and nitrogen level on the performance of eight varieties of Upland Cotton, Gossypium hirsutum L. Agronomy Journal 60(1):13-17.
- NES, B. E., and W. O. DRINKWATER. 1959. Irrigation studies vegetables in Connecticut. Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 338.
- NSEN, R. E., A. A. MILLAR and F. BUER. 1967. The effect of water deficits at different stages of growth on the barley yield. Fargo, North Dakota, Soil Department, North Dakota State University. (Unpublished data).
- NES, S. T. and W. A. JOHNSON. 1958. Effect of irrigation at different minimum levels of soil moisture and of imposed droughts on yield of onions and potatoes. Proceedings American Society of Horticultural Sciences 71:440-445.
- NES, J. N., Jr., J. E. MOODY and J. E. LILLARD. 1957. Corn and burley tobacco plot studies. Research Report, 1953-1957, Virginia Agricultural Experiment Station. pp 52-53.
- NES, J. N., G. N. SPARROW, and J. D. MILES. 1960. Principles of tobacco irrigation. U. S. Department of Agricultural Informative Bulletin 228. p. 16.
- SIMATIS, A. N. 1967. Grapes and berries. Part 1. Grapes. In. Irrigation of Agricultural Lands, R. M. Hagan, N. R. Haise and T. W. Edminster (Ed.) Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. pp. 719-733.
- TAN, A. A., and J. W. FLEMING. 1956. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth, and composition of snapbeans. Proceedings, American Society for Horticultural Science 68:329-342.
- PER, R. A., E. C. A. RUNGE, and W. M. WALKER. 1974. Effect of plant-available stored soil moisture on corn yields. I. Constant Climatic

Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA. Serie 2, Biología y Producción Vegetal 3(6):67-108.

- NIJENSOHN, L., D. L. MIHAJLOVICH y C. J. GRASSI. 1967. Respuesta de la ce bolla (cv "Valenciana") a diferentes regimenes de riego. Revista de Inve stigaciones Agropecuarias, INTA. Serie 2, Biología y Producción Vegeta l 4(7):87-116.
- PETERSON, R. F. 1965. Wheat. New York, Interscience Publishers.
- PEW, W. D. 1958. Effects of soil moisture on cantaloupe growth and producti on. Western Grower and Shipper 29:22-24.
- RAWITZ, E. and D. I. HILLEL. 1969. Comparison of indexes relating plant re sponse to soil moisture status. Agronomy Journal 61(2):231-235. ↙
- RHOADES, H. F., O. W. HOWE, J. A. BONDURANT and F. B. HAMILTON. 1954. Ferti lization and irrigation practices for corn production on newly irriga ted land in the Republican Valley. Nebraska Agricultural Experiment Station. (Bulletin 424).
- RICHARDS, S. J., J. E. WARNEKE, and T. F. BINGHAM. 1962. Avocado tree growth response to irrigation. California Avocado Soc. Yearbook 46:83-87.
- ROBINS, J. S., and C. E. DOMINGO. 1953. Some effects of severe soil moistu re deficits at specific growth stages of corn. Agronomy Journal 45: 618-621.
- ROBINS, J. S. and C. E. DOMINGO. 1956. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. Agronomy Journal 48:67-70.
- ROBINS, J. S. and C. E. DOMINGO. 1962. Moisture and nitrogen effects on irrigated spring wheat. Agronomy Journal 54:135.
- RUNGE, E. C. A., and R. T. ODELL. 1958. The relation between precipitation, temperature, and the yield of corn on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. Agronomy Journal 52:245-47.
- SALE, P. J. M. 1966. The response of summer lettuce to irrigation at diffe rent stages of growth. Journal of Horticultural Science 41:43-52.
- SALTER, P. J. 1961. The irrigation of early summer cauliflower in relation to stage of growth, plant spacing, and nitrogen level. Journal of Horti cultural Science 36:241-53.
- SALTER, P. J. 1962. Some responses of peas to irrigation at different growth stages. Journal of Horticultural Science 37:141-49.



- SALTER, P. J. 1963. The effect of wet or dry soil conditions at different growth on the components of yield of a pea crop. Journal of Horticultural Science 38:321-34.
- SALTER, P. J. and J. E. GOODE. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal. 246 p (Research Review No 2).
- SCHMUELI, E. 1953. Irrigation studies in the Jordan Valley: I. Physiological activity of banana in relation to soil moisture. Bulletin Research Council of Israel 3:228-247.
- SHIMSHI, D. and A. MARANI. 1971. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. II. The Northern Negev Region. Experimental Agriculture 7:225-239.
- SIMÕES, A. JOSÉ e OUTROS. 1973. Comportamento do trigo nos grumossolos do Baixo Médio São Francisco. Petrolina, PE., GEIDA/SUDENE, IICA/CIDIAT. 28 p (mimeografado).
- SINGH, R., and R. B. ALDERFER. 1966. Effects of soil moisture stress at  different periods of growth of some vegetable crop. Soil Science 101: 69-80.
- SOMMERFELDT, T. G. 1960. Effect of irrigation, plant population, and row spacing on corn yield. North Dakota Farm Research 21(5):16.
- SPIEGEL, P. 1955. The water requirement of the olive tree, critical periods of moisture stress, and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit. In Report 2, Fourteenth International Horticultural Congress. Scheveningen, The Netherlands.
- STEWART, J. I., R. D. MISRA, W. O. PRUITT, and R. M. HAGAN. 1974. Irrigating corn and grain sorghum with limited water. American Society of Agricultural Engineers, Annual Meeting, June 23-26, 1974. (Paper No 74-2024).
- STOLZY, L. H., O. C. TAYLOR, M. J. GEBBEP, and P. E. LOMBAED. Previous treatments as factors in subsequent irrigation level studies in orange production. Amer. Hort. Soc. 82:199-203.
- STRUCHTEMEYER, R. A. 1960. Efficiency of the use of water by potatoes. American Potato Journal 38:22-24.
- TAYLOR, S. A., and B. ROGNERUND. 1959. Water management for potato production. Utah Farm and Home Science 20:82-87.
- TAYLOR, S. A., J. L. HADDOCK, and M. W. PEDERSEN. 1959. Alfalfa irrigation for maximum seed production. Agronomy Journal 51:357-360.

- TAYLOR, S. A. 1965. Managing irrigation water on the farm. Amer. Soc. Agr. Eng. Trans. 8:433-436.
- URIU, K. 1964. Effect of post-harvest soil moisture depletion on subsequent yield of apricots. Proceedings, American Society for Horticultural Science 84:93-97.
- VAADIA, Y. and A. N. KPSIMATIS. 1961. Vineyard irrigation trials. The American Journal of Enology and Viticulture 12:88-89.
- VAN DER PAAUW, F. 1949. Water relations of oats with special attention to the influence of periods of drought. Plant and Soil 1:303-341.
- VISSAR, W. C. 1959. Crop growth and availability of moisture. Institute of Land and Water Management Research (Wageningen). Technical Bulletin 6.
- VITTUM, M. T., W. T. TAPLEY, and N. H. PECK. 1958. Response of tomato varieties to irrigation and fertility level. New York Agricultural Experimental Station (Geneva) Bulletin 782.
- VITTUM, M. T., R. B. ALDERFER, E. E. JAMES, C. W. REYNOLDS, and R. A. STRUCHTEMEYER. 1963. Crop response to irrigation in the Northeast. New York State Agricultural Experiment Station Bulletin 800.
- VOUGH, L. R. and G. C. MARTEN. 1971. Influence of soil moisture and ambient temperature on yield and quality of alfalfa forage. Agronomy Journal 63(1):40-42.
- WELLS, S. A., and S. DUBETZ. 1966. Reaction of barley varieties to soil water stress. Canadian Journal of Plant Science 112:489-94.
- WIIDAKAS, W. 1958. Early maturing corn more dependable. North Dakota Farm Research 20 (May-June issue).
- WINTER, E. J. 1960. The irrigation of potatoes. Agriculture, London 66:549-51.
- WRIGHT, J. R., J. C. LINGLE, W. J. FLOCKER and S. L. LEONARD. 1962. The effect of irrigation and nitrogen fertilization treatments on the yield maturation and quality of canning tomatoes. American Society of Horticultural Sciences 81:451-457.
- ERIE, L. J., O. F. FRENCH and K. HARRIS. 1968. Consumptive use of water by crops in Arizona. Agriculture Experiment Station, The University of Arizona. 44 p. (Technical Bulletin 169).