

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

**EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DEL MANÍ BAJO
DISTINTAS ROTACIONES Y SISTEMAS DE LABRANZA**

ALVARO MARTIN MORICHETTI

DNI: 28.713.006

Director: Giayetto Oscar

Co-Director: Cerioni Guillermo

Río Cuarto - Córdoba

Marzo 2009

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Eficiencia de uso del agua del mani bajo distintas rotaciones y sistemas de labranza.

Autor: Morichetti Alvaro Martin

Director: Ing. Agr. M.Sc. Oscar Giayetto

Co – Director: Ing. Agr. Guillermo Cerioni

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. _____

Ing. Agr. _____

Ing. Agr. _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

A mis padres, Daniel y Amelia que con sus esfuerzos e incentivos lograron que estudie.

A mi familia Carina, Agustín y Jazmín que son el motor de todos mis sueños.

A mis hermanos Gustavo y Gerardo por su apoyo incondicional..

AGRADECIMIENTOS

A los Ing. Agrónomos Oscar Giayetto y Guillermo Cerioni por haberme brindado la posibilidad de realizar mi trabajo final bajo su dirección, por el tiempo dedicado y disposición en todo momento.

INDICE DE TEXTO

	Página
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES	2
2.1. Uso del agua por los cultivos.	2
2.2. Balance de agua en el suelo.	2
2.3. Efectos de las labranzas y rotaciones sobre la EUA.	3
3. HIPÓTESIS	6
4.OBJETIVOS	6
5. MATERIALES Y MÉTODOS	7
5.1 Tratamientos	7
5.2. Mediciones	7
5.3. Análisis de resultados	10
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
6.1. Condición meteorológica y fenología	11
6.2 Condición meteorológica	11
6.3 Fenología	12
6.4. Duración de las etapas fonológicas	12
6.5. Balance de agua	13
6.6.Evapotranspiración, evaporación y transpiración	17
6.7. Curvas de evapotranspiración real, evaporación de suelo y transpiración	18
6.8. Biomasa aérea total acumulada a cosecha	22
6.9. Eficiencia en el uso del agua	22
6.10 Biomasa aérea	22
6.11 Rendimiento de frutos y semillas	23
7. CONCLUSIÓN	26
8. BIBLIOGRAFÍA	27

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Balance de agua labranza reducida tratamiento 1x2.	14
Tabla 2. Balance de agua labranza convencional tratamiento 1x2.	14
Tablas 3. Balance de agua labranza directa tratamiento 1x2.	15
Tablas 4. Balance de agua labranza reducida tratamiento 1x4.	15
Tabla 5. Balance de agua labranza convencional tratamiento 1x4.	16
Tabla 6. Balance de agua labranza reducida tratamiento 1x4.	16
Tabla 7. Valores de ETR promedio de cada combinación entre rotación y sistemas de labranza	17
Tabla 8. Valores de IAF al final del ciclo del cultivo (140 DDS) en las seis combinaciones de rotación y labranza.	18
Tabla 9. Valores de ETR acumulada (mm) al final del ciclo (140DDS) para las seis combinaciones de rotación y labranza	20
Tabla 10. Valores de evaporación del suelo acumulada (mm) al final del ciclo (140DDS) para las seis combinaciones de rotación y labranza	21
Tabla 11. Valores de transpiración (mm) acumulada al final del ciclo (140 DDS) de las seis combinaciones de labranza y rotación.	21
Tabla 12. Valores de biomasa aérea acumulada (Kg/ha) al final del ciclo del cultivo (140 DDS) para las seis combinaciones de labranza y rotación.	22
Tabla 13. Eficiencia de uso del agua (EUA, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) de la biomasa aérea producida en las seis combinaciones de labranza y rotación.	22
Tabla 14. Eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) de la biomasa producida en las seis combinaciones de labranza y rotación.	23
Tabla 15. Eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) del rendimiento de frutos en las seis combinaciones de labranza y rotación.	24
Tabla 16. Eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) del rendimiento de semillas en las seis combinaciones de labranza y rotación.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Condiciones meteorológicas durante la estación de crecimiento del maní.	11
Figura 2. Tiempo en días después de la siembra (DDS) en que se produjo el inicio de cada etapa fenológica del cultivo.	12
Figura 3. Duración en días de las etapas fonológicas observadas durante el ciclo del cultivo de maní.	13
Figura 4. Curvas calculadas de ETR, evaporación del suelo y transpiración de cada sistema de labranza en la rotación corta (1x2). (a) Labranza reducida, (b) Labranza convencional y (d) Labranza directa.	18
Figura 5. Curvas calculadas de ETR, evaporación del suelo y transpiración de cada sistema de labranza en la rotación larga (1x4). (a) Labranza reducida, (b) Labranza convencional y (d) Labranza directa.	19
Figura 6. Rendimientos de frutos y semillas en tres sistemas de labranzas y dos rotaciones (1x2, maní-maíz y 1x4, maní-maíz-soja-maíz).	24

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la región manisera del centro-sur de Córdoba, a 12 km. al sur-oeste de localidad de General Cabrera, sobre un suelo Haplustoles énticos, franco arenoso muy fino con relieve suavemente ondulado, con pendientes uniformes que presenta alto grado de deterioro en las condiciones físicas-morfológicas. El objetivo fue evaluar el efecto acumulado de rotaciones y sistemas de labranzas sobre la economía del agua del cultivo de maní y su influencia sobre el rendimiento. Se seleccionaron seis variantes experimentales basadas en la combinación de dos rotaciones (1x2 y 1X4) y tres sistemas de labranza (labranza reducida; labranza convencional; labranza directa) a cada combinación se le midió la lámina de agua del perfil para calcular la evapotranspiración acumulada del ciclo del cultivo. Por otra parte se registró el área foliar y el número de plantas para determinar el índice de área foliar, de esta forma se calculó la proporción de radiación incidente que junto a la evapotranspiración potencial determinaron la evaporación de suelo. Finalmente se obtuvo la transpiración por diferencia de evapotranspiración y evaporación. Con los valores de evapotranspiración, transpiración y rendimiento se calculó la eficiencia del uso del agua y la eficiencia transpiratoria de cada combinación en análisis.

Los datos recogidos y analizados permitieron verificar que no hubo diferencia en la EUA (eficiencia del uso del agua) entre las labranzas, aunque la rotación 1x4 fue mayor respecto a 1x2, mientras que la mayor EUA se produjo en la combinación 1x4-LD. Del mismo modo la EUTr (eficiencia del uso del agua transpirada) no mostró diferencias entre sistemas de labranza pero sí entre rotaciones donde la secuencia 1x4. El efecto de la rotación fue superior al de labranza en todos los parámetros medidos y la mejor combinación fue rotación larga y siembra directa.

Palabras claves: maní; rotación, labranza, eficiencia en el uso del agua, rendimiento.

SUMMARY

The present study was carried out in the center-south of Cordoba province, 12 km at southwest of General Cabrera's city, on loam sandy soil (Haplustol éntico), softly wavy relief, by uniform earrings(slopes), he/she presents high degree of deterioration in the physical - morphologic conditions. The objective was to evaluate the accumulated effect of rotations and tillage systems on the economy of water in peanut crop and their influence on pod yield. There were selected six experimental variants based on the combination of two rotations (1x2 y 1x4) and three tillage systems (minimum tillage; conventional tillage; direct sowing). Soil water content was measured in each combination and used to calculate the evapotranspiration accumulated during crop season. On the other hand leaf area per plant and number of plants were registered to determine leaf area index. LAI was used to calculate the proportion of incident solar radiation that together with the potential evapotranspiration determined the evaporation of soil. Finally the transpiration was obtained by difference between evapotranspiration and soil evaporation. With values of evapotranspiration, transpiration and pod yield the water use efficiency and transpiration efficiency were determined to each treatment.

All data were analyzed information allowed to check that there was no difference in the EUA between(among) the tillages, though the rotation 1x4 was major with regard to 1x2, whereas the major EUA produced to himself(herself, itself) in the combination 1x4-LD. The effect of the rotation was superior to that of tillage in all the treatment and the best combination was long rotation and direct sowing.

Key words: peanut; rotation, tillage, use efficiency water, yield.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos predominantes de la región central de Córdoba son Haplustoles énticos de textura franca-arenosa fina y presentan una larga historia de uso agrícola (más de 50 años) caracterizada por una elevada intensidad de laboreo. Como consecuencia de ello, en la actualidad presentan alto grado de deterioro, especialmente en sus condiciones físicas e hidrofísicas, las cuales influyen directamente en la economía del agua para los sistemas de producción que los mismos soportan.

En esas condiciones el sistema suelo-cultivo de maní presenta alta variabilidad de rendimiento asociada a la pérdida progresiva de la productividad de las tierras. Entre las determinantes de origen edáfico cabe señalar la baja velocidad de infiltración del agua de lluvia, reducida capacidad de almacenaje de agua del perfil del suelo y el deterioro del espacio físico que dificulta el normal crecimiento de las raíces (Bonadeo, 1997). A ello se agrega el déficit hidrológico, propio de la condición climática regional caracterizada por la variabilidad en cantidad y distribución de las precipitaciones durante la estación de crecimiento del cultivo (período noviembre-abril).

Estas limitantes para la producción manisera en el área central de la provincia de Córdoba, han determinado que numerosos productores de la zona abandonen este rubro de producción y, al mismo tiempo, la expansión de la frontera de producción de maní hacia áreas nuevas ubicadas al sur de la provincia.

Ciertas prácticas de manejo, como las rotaciones y los sistemas de labranza, influyen sobre las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo modificando la velocidad de infiltración del agua de lluvia, la resistencia mecánica superficial y subsuperficial, la densidad aparente (DAP), entre otras. Esos cambios facilitan el ingreso de agua al suelo determinando distintos niveles de agua disponible para el cultivo lo que afecta la eficiencia del uso del agua.

Con el presente trabajo se busca hallar diferencias en la eficiencia de uso del agua del maní generadas por distintas combinaciones de labranzas y rotaciones para un año en particular.

2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES

2.1. Uso del agua por los cultivos

Entre los primeros estudios orientados a determinar la relación entre el uso del agua y el rendimiento cabe mencionar a de Wit (1958), quien revisó un gran grupo de cultivos y concluyó que existe una relación única entre el uso del agua y el rendimiento.

Posteriormente, Gardner *et al.* (1985) trabajaron sobre la base del concepto de eficiencia de uso del agua (EUA) a partir de la relación entre el agua evapotranspirada y la producción de materia seca, pudiendo ser dicho concepto aplicado a la producción de biomasa total (rendimiento biológico) o a la producción de frutos y semillas (rendimiento económico) utilizando, para este segundo caso, el índice de cosecha.

$$\text{EUA} = \text{rendimiento biológico} / \text{evapotranspiración (ET)} \quad (1)$$

De aquí, se puede calcular el requerimiento de agua de un cultivo para un determinado rendimiento de materia seca:

$$\text{Requerimiento de agua} = \text{evapotranspiración} / \text{producción de materia seca} \quad (2)$$

La EUA varía entre especies y una fuente de variación es la vía de fijación del CO₂. Las especies C4 tienen una EUA más alta que las C3 debido a sus altas tasas de fotosíntesis y crecimiento en condiciones de elevada luz y temperatura y baja tasa de transpiración. Otras fuentes de variación del uso del agua por los cultivos lo constituyen las prácticas de manejo como las rotaciones y los sistemas de labranza, por sus influencias directas sobre las propiedades físicas del suelo e indirectas sobre el crecimiento de las plantas.

En este sentido, y para comprender mejor el efecto de las labranzas y rotaciones sobre el uso del agua por el cultivo, es conveniente separar la ET en sus componentes (transpiración y evaporación). Sin embargo, debido a las dificultades operativas que implican las mediciones directas, es común el uso de estimaciones como la propuesta por Cooper *et al.* (1983). Estos autores obtuvieron datos confiables de evaporación del suelo (Es) y transpiración (T) a partir de mediciones a campo de ET, evaporación desde suelo desnudo y cobertura (estimada a partir del IAF y el coeficiente de extinción del cultivo).

2.2. Balance de agua en el suelo

Con el fin de tener una visión más completa del sistema, es necesario comprender el balance de agua del suelo. Considerando al perfil del suelo como un “continente”, y

conociendo los ingresos y las pérdidas de agua del mismo es posible usar una ecuación de balance como la siguiente:

$$P + I = ET + R + D \pm DA_{lm} \quad (3)$$

Donde:

- *P e I son las entradas por precipitación e irrigación artificial,*
- *ET representa la cantidad de agua perdida por evaporación desde la superficie del suelo y la transpirada por las plantas,*
- *R escurrimiento superficial, y*
- *D el drenaje profundo fuera del alcance radical*
- *$\pm DA_{lm}$ es la variación del contenido de agua del suelo para un período dado y hasta una determinada profundidad del perfil (Ej. 150 cm).*

Desde el punto de vista del manejo, es necesario optimizar las entradas y disminuir las pérdidas por evaporación y escorrentía maximizando la cantidad de agua disponible para los cultivos preservando así el recurso suelo (Dardanelli, 1998).

2.3. Efectos de las labranzas y rotaciones sobre la EUA

Existen diferentes resultados respecto a la incidencia que las rotaciones y los sistemas de labranza tienen sobre los suelos, en lo que respecta al espacio físico para la exploración radical, aireación, temperatura y agua. Los mismos dependen, entre otros aspectos, del tipo de suelo y de su historia de uso.

Algunos autores destacan que la rotación con gramíneas mejora las condiciones hidrofísicas, aumentando el contenido de agua disponible y la velocidad de infiltración final, especialmente en siembra directa y labranza reducida (Uberto *et al.*, 2001). Otros, que la efectividad de la labranza reducida con laboreo vertical depende del grado de homogeneización que se obtenga con éste (Uberto *et al.*, 2002) y que para situaciones de alto deterioro, la siembra directa a pesar de favorecer una mayor acumulación de agua en el perfil, no siempre se traduce en mayor rendimiento. Para el cultivo de maní Casini y Haro (2000) señalan que la eficiencia en el uso del agua útil fue superior bajo sistemas de siembra directa y labranza reducida a la observada hasta ahora con labranza tradicional. Micucci *et al.* (2002) también mostraron que la siembra directa al mantener una cobertura superficial y mejorar en el corto plazo la estructura de los primeros centímetros del suelo mejora las propiedades relacionadas con el balance de agua en el suelo.

Un trabajo llevado a cabo en el área de estudio, analizó la influencia de tres sistemas de laboreo implementados en el marco del proyecto *Modelos optimizados de producción*

para la recuperación de la productividad de los sistemas agrícolas del área núcleo manisera. Se concluyó que la velocidad de infiltración aumentó entre un 49 y 93% cuando se roturó el piso de labor por debajo de 25 cm en labranza convencional; al cabo de tres años la labranza directa mostró los mayores valores de DAP, RM y los menores de VIF, lo cual indicó una baja capacidad de autorecuperación de las variables físicas del suelo; la labranza reducida sólo mejora la condición física general y aumentan su productividad cuando se logra una homogeneización física hacia menores valores de DAP, RM y mayores valores de VIF, que mejoran las condiciones de enraizamiento y entrada de agua al suelo (Uberto *et al.*, 2002).

Otras observaciones destacan para la provincia de Córdoba, que el manejo de mejores coberturas superficiales podría (en promedio) agregar al suelo una cantidad adicional de 100 mm de agua disponible por año para los cultivos (Dardanelli, 1998). Esto representaría, en el caso de maní, la posibilidad de producir entre 700-800 kg adicionales de rendimiento.

En Estados Unidos el maní se cultiva generalmente en sistema de labranza convencional. Sin embargo, labranza reducida fue incrementándose para proteger el suelo de la erosión eólica y minimizar costos de producción, pero variables son los resultados comparado con labranza convencional. Brandenburg *et al.* (1998), Cox y Sholar (1995), Grichar (1998), Sholar *et al.* (1993) y Wright y Poter (1995) reportaron que la labranza convencional es más efectiva que la labranza reducida manteniendo el rendimiento de maní. Aunque ellos reportan que en muchas situaciones la labranza reducida es realizada como convencional. En contraste Baldwin y Hook (1998), Hartzog *et al.* (1998), Williams *et al.* (1998) reportan que maní tipo *runner* puede ser cultivado con éxito en labranza reducida. Naderman (1998) indica que la cosecha de maní en siembra directa puede ser menor que en convencional y reducida.

Wright *et al.* (2002) en un documento de divulgación de la Universidad de Florida advierten que en la región la adopción de la SD sin subsolado no tuvo éxito debido a la compactación de los suelos que restringen el crecimiento de raíces a los 18-20 cm superficiales. La mayor parte de las unidades de siembra con laboreo reducido incluyen una reja subsoladora que rompe la compactación, mientras dejan la cobertura poco disturbada.

En cuanto a la rotación maní es muy sensible a los efectos de los cultivos que lo preceden, especialmente en lo que se refiere a la condición física del suelo. También una correcta rotación permite un cierto control de enfermedades y plagas. La planta de maní usa eficientemente la fertilidad residual y cultivos como maíz o sorgo interrumpen el ciclo de

enfermedades y producen un mejoramiento de las condiciones físicas del suelo, efecto asociado a sus sistemas radicales y a los voluminosos rastrojos que dejan. No es recomendable la siembra de maní después de soja, pues se incrementa el complejo de patógenos de suelo comunes a ambos cultivos. El monocultivo de maní debe ser descartado ya que produce un gran deterioro del suelo por pérdida de estructura y aparecen antes y con mayor intensidad las enfermedades (Pedelini *et al.*, 1998).

Los primeros ensayos de rotaciones se realizaron en INTA Manfredi (Salas *et al.*, 1993), en experiencias de larga duración (1983-1992) donde se compararon diferentes esquemas de rotación de cultivos integrados por sorgo, soja, girasol y maní. Los autores concluyen que el mejor antecesor para maní fue sorgo, lo que atribuye y asemeja a mejores condiciones físicas aportadas por los rastrojos de este cultivo. En relación al rendimiento de maní, no se encontraron diferencias significativas entre rotaciones, aunque se evidenció una tendencia a una reducción del rendimiento en secuencias maní-maní, atribuidas a la mayor incidencia de enfermedades.

A partir de 1993, la UNRC desarrolló un Programa de Investigación en un área experimental ubicada en campos de productores en la zona rural al oeste de General Deheza. Se estudiaron dos secuencias de cultivos Gramínea-Leguminosa (GL) y Leguminosa-Leguminosa (LL), donde además de maní intervenían maíz, soja, sorgo, girasol y verdeos invernales como abono verde. Por otra parte, se ensayaron diferentes sistemas de laboreo: 1. Convencional, 2. Reducido con cincelado, 3. Reducido con subsolador alado y 4. Siembra directa.

Los resultados mostraron que la rotación GL superó a la LL en todas las campañas, verificándose que la inclusión de una gramínea en un sistema agrícola puro de alternancia anual proporciona un mejor ajuste cultivo-ambiente por su doble efecto de aportar materia orgánica (rastrojo) y ofrecer protección al suelo (Giayetto *et al.*, 1996, 1998).

En Estado Unidos Jordan *et al.* (2002) estudiaron el efecto de 10 diferentes secuencias de cultivo con maní (maíz, algodón y soja) sobre la producción y los ingresos netos. Al cabo de 4 años de ensayo, los autores concluyeron que hubo un menor rendimiento del cultivo en las rotaciones de maní continuo, respecto a aquellas que incluían al menos 2 años de algodón y 2 de maní o 2 años de maíz, 1 de algodón y 1 de maní.

Una buena rotación incrementa los rendimientos, reduce la incidencia de plagas y recicla los nutrientes. Cultivos como pasturas de gramíneas, maíz, sorgo granífero, mijo, algodón y granos finos han mostrado sus beneficios como antecesores de maní (Wright *et al.*, 2002).

Jordan *et al.* (2004) estudiaron los efectos del sistema de laboreo en maní en rotación con algodón y maíz en dos suelos arenoso-francos. Utilizaron dos sistemas de labranza convencional y en franjas (40 cm). No encontraron diferencias en los rendimientos para los dos sistemas de labranza, ni entre las rotaciones. En contraste maní mostró diferencias en rendimiento a favor de las rotaciones con algodón y maíz en períodos largos, respecto a las de maní continuo.

Wright *et al.* (2005) estudiaron rotaciones de maní y algodón con pasturas integradas a sistemas conservacionistas de laboreo. Las rotaciones incluyeron desde agricultura permanente (maní-algodón-trigo) hasta rotaciones de 2 años de pastura y 2 años de agricultura (maní-trigo, algodón-trigo). Los resultados indican un aumento entre 30 y 50% en los rendimientos de maní en la rotación con pasturas, respecto a las agrícolas puras, además de mejoras significativas en propiedades del suelo como infiltración, capacidad de retención de agua, resistencia mecánica y susceptibilidad a la erosión.

3. HIPÓTESIS

Rotaciones largas con inclusión de gramíneas y sistema de labranza reducida con laboreo vertical mejoran la economía del agua del cultivo de maní a través de un aumento de la EUA.

Los cambios en las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo producidos por la rotación y los sistemas de labranza, aumentan la cantidad de agua disponible para el cultivo que se traduce en mayor rendimiento.

4. OBJETIVO

Evaluar el efecto acumulado de rotaciones y sistemas de labranzas sobre la eficiencia del uso del agua del cultivo de maní y su influencia sobre el rendimiento.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tratamientos

El estudio se llevó a cabo en la región centro-sur de Córdoba, en un campo ubicado 12 km al sur-oeste de la localidad de Gral. Cabrera (propiedad del Sr. Vissio). El relieve del sitio corresponde a una llanura suavemente ondulada, con pendientes uniformes, largas y muy largas y gradientes entre 0,5 y 0,7%. El suelo es un Hapludol éntico, franco arenoso muy fino con secuencia de horizontes Ap-A-AC-CK (SOIL. Actualmente, presenta alto grado de deterioro, especialmente en las condiciones físico-morfológicas, como consecuencia de desajustes en el uso y manejo del mismo asociado con sistemas de producción predominantemente agrícolas, carencia de rotaciones planificadas y sistemas de laboreo empleados.

En ese ambiente se encuentra instalado desde hace 4 años un área experimental con diferentes rotaciones y sistemas de labranza, combinados en diferentes arreglos factoriales y asignados a un diseño en franjas.

En la campaña 2003/04, se seleccionaron seis de esas variantes experimentales basadas en la combinación de dos rotaciones y tres sistemas de labranza. El criterio para la elección de las rotaciones fue la frecuencia de maní en el tiempo, incluyendo las siguientes variantes:

Frecuencia maní (maní x año)	Rotación
1 x 2	Maíz – Maní
1 x 4	Maíz – Soja – Maíz – Maní

Las variantes de sistema de labranza incluidas fueron:

- a) Labranza Reducida: laboreo con cincel u otra variante de labor profunda, cobertura mayor a 30% (según cultivo antecesor).
- b) Labranza directa: sin remoción profunda y siembra directa sobre los residuos con coberturas superiores al 60%, luego de los antecesores maíz y soja.
- c) Labranza Convencional: laboreo con arado o rastra, cobertura de residuos menor al 10%, sin laboreo vertical.

5.2. Mediciones

En cada combinación de rotación y sistema de labranza seleccionada se midió el contenido de agua del suelo cada 10-15 días durante el ciclo del cultivo de maní (entre emergencia y R8). Se empleó el método gravimétrico, con toma de muestras compuestas hasta 1.2 m de profundidad y cada 10 cm extraídas con

barreno manual. Las muestras compuestas surgían de tres submuestras tomadas al azar dentro de cada franja. El maní tiene raíces que superan esa profundidad, sin embargo estudios previos sugieren que es más afectado por el agua del suelo de los estratos superiores del perfil (Bennett *et al.*, 1984). Las muestras de suelo se colocaron en recipientes de aluminio, se registraron sus pesos húmedos y se colocaron en estufa de secado a 105°C hasta peso constante (72 h). Luego, mediante la siguiente ecuación se calculó la humedad gravimétrica (g.g^{-1}) para cada intervalo de medición (10 cm).

$$CGA(\text{g.g}^{-1}) = \frac{(PH + T) - (PS + T)}{PS - T} \quad (4)$$

donde:

CGA = contenido gravimétrico de agua (g.g^{-1})

PH = peso de la muestra de suelo húmedo (g)

PS = peso de la muestra de suelo seco (g)

T = tara del recipiente de aluminio (g)

Con estos datos de humedad y la densidad aparente de cada capa (DAP), se obtuvo la humedad volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$).

$$HV (\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}) = CGA \times DAP \quad (5)$$

donde:

HV = humedad volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

CGA = Contenido gravimétrico de agua (g.g^{-1})

DAP = densidad aparente (g. cm^{-3})

Finalmente, la lámina de agua (mm) de cada capa de suelo se estimó a partir de la ecuación:

$$LA (\text{mm}) = HV \times p \quad (6)$$

donde:

LA = lámina de agua (mm)

HV = humedad volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

p = espesor del estrato (mm)

Luego, de la sumatoria de las distintas capas, se obtuvo la lámina de agua del perfil (0 a 120 cm) que se utilizó para calcular la evapotranspiración (ET) del cultivo correspondiente a cada intervalo de medición:

$$ET = P - \Delta Hs - Esc - D \quad (7)$$

donde:

P = lluvias,

ΔHs = variación del contenido de humedad del suelo entre dos muestreos sucesivos,

Esc = escurrimiento superficial, estimado por el método de la Curva Número,

D = drenaje profundo, excedente hídrico después de descontar el contenido de agua a capacidad de campo del perfil (0-120 cm).

Con los valores de ET del cultivo para cada intervalo de medición se calculó la ET acumulada para el ciclo del maní en cada una de las combinaciones de rotación y labranza.

Por otra parte, se registró el área foliar en siete oportunidades durante el ciclo del cultivo utilizando un método indirecto basado en la relación entre área foliar y peso seco de las hojas estimado por Ma *et al.* (1992):

$$AF \text{ (cm}^2\text{)} = 0.020 \times PSH^{0.98} \quad (8)$$

donde:

AF (área foliar) y *PSH* (peso seco de hojas (g))

Con los datos de AF por planta y el número de plantas por superficie, se calculó el correspondiente IAF. Con los valores de IAF obtenidos, se ajustó una función polinómica para estimar los valores diarios de IAF necesarios para calcular la evolución de la cobertura del cultivo y la proporción de interceptación de la radiación incidente, según la ecuación:

$$\alpha = 1 - e^{-K * IAF} \quad (9)$$

donde:

K = es el coeficiente de extinción de la luz del canopeo de maní (0.74) (Collino *et al.*, 2001)

IAF = es el índice de área foliar

La evaporación del suelo (*Es*) durante la estación de crecimiento del cultivo depende de la demanda atmosférica (ETP) y la frecuencia de lluvias. Como la energía radiante es la principal componente de esa demanda, la ecuación usada fue:

$$Es = ETP * \alpha \quad (10)$$

donde:

$ETP =$ evapotranspiración potencial obtenida de la estación agrometeorológica de la FAV-UNRC

$\alpha =$ proporción de radiación interceptada obtenida de la ecuación (9).

Finalmente, la transpiración se obtuvo por diferencia:

$$T = ET - E_s \quad (11)$$

Con los valores de ET, T y rendimiento de frutos y semillas¹, se calculó la eficiencia de uso del agua (EUA) y eficiencia transpiratoria (Etr) de cada combinación experimental bajo análisis.

5.3. Análisis de resultados

Los datos de biomasa, rendimiento de frutos y semillas fueron procesados mediante ANOVA, y las medias comparadas según el test de Duncan ($P= 0.05$) con el programa estadístico INFOSTAT.

¹ Tomados de otro estudio realizado en el mismo sitio experimental y campaña agrícola: *Modelos optimizados de producción para la recuperación de la productividad de los sistemas agrícolas del área núcleo manisera.*

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Condiciones meteorológicas y fenología

En las Figuras 1 y 2, se muestran los registros de las variables ambientales temperatura y lluvia durante la estación de crecimiento del cultivo de maní (ciclo 2003/04) en el sitio experimental donde se desarrolló el estudio y se indican las principales etapas fenológicas y su duración relativa.

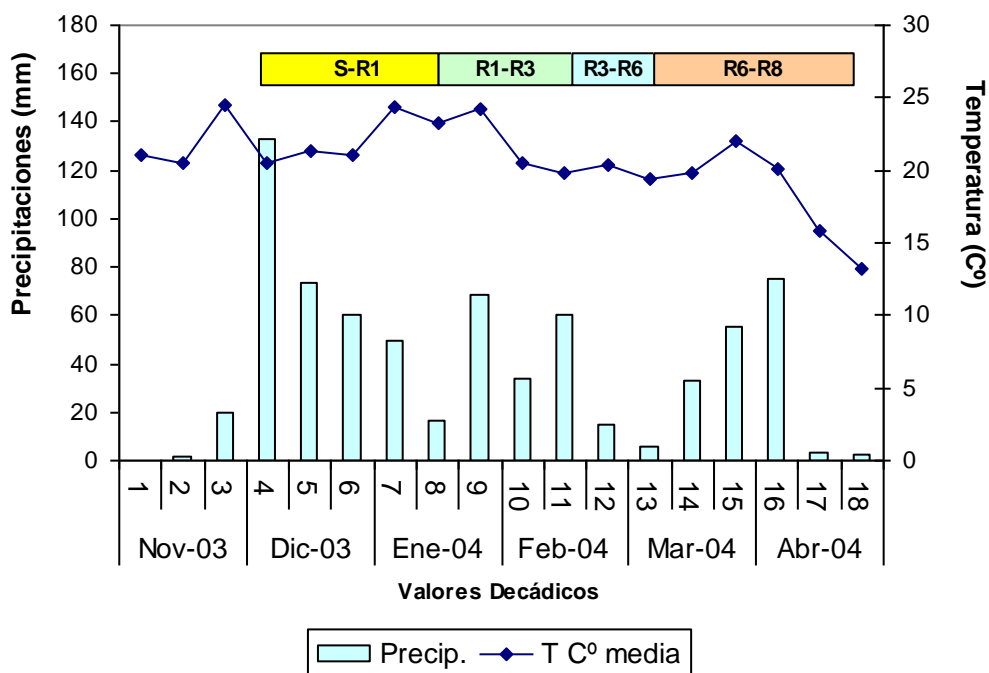


Figura 1. Condiciones meteorológicas durante la estación de crecimiento del maní (campaña 2003/04) y duración de las etapas fenológicas del cultivo.

6.2 Condiciones meteorológicas

La región donde se localizó el trabajo se caracteriza por una marcada transicionalidad climática con variación interanual de las precipitaciones y ocurrencia de déficit hidrológicos estacionales (Ravello y Seiler, 1995). Esa condición afecta los rendimientos del cultivo de maní y condiciona su estabilidad (Giayetto *et al.*, 1995; SAGyP 1998/1999, 1999/2000).

La lluvia acumulada entre la siembra y la cosecha del cultivo fue 598 mm superando los valores históricos de la región manisera del centro-norte de Córdoba cuyo promedio es de 525 mm con un coeficiente de variación promedio mensual de 60% (Giambastiani, 1998). Por su parte, la distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo respondió al

patrón regional; sin embargo, la escasez de lluvias del mes de noviembre condicionó la siembra que se realizó en una fecha subóptima (06/12/03).

La temperatura media registrada durante el ciclo del cultivo fue de 20,3 °C, la cual se considera adecuada para el desarrollo del cultivo y está dentro de los valores medios normales de la región (20-24°C).

6.3. Fenología

La Figura 2 indica el tiempo (en días desde la siembra, DDS) en que se registró el inicio de las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

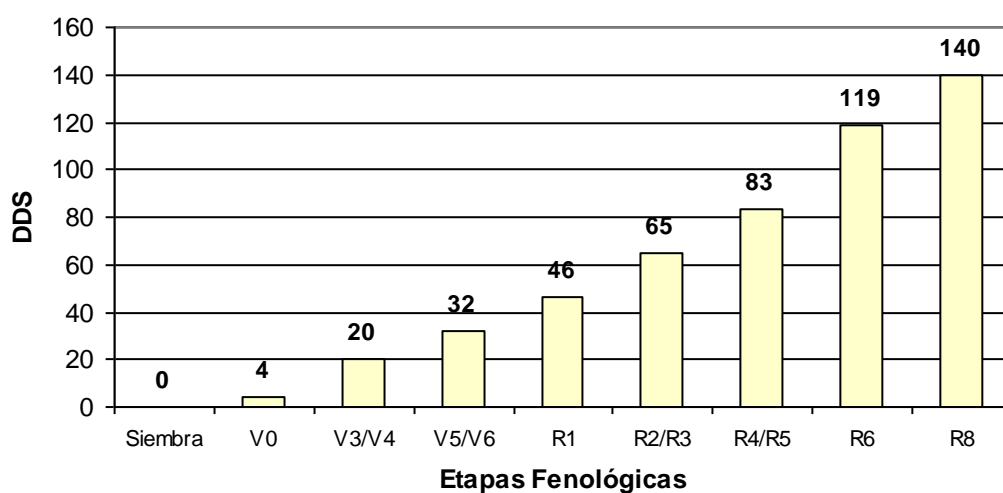


Figura 2. Tiempo en días después de la siembra (DDS) en que se produjo el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (Siembra = 06/12/03).

6.4. Duración de las etapas fonológicas

La Figura 3 consigna la duración en días de las etapas fenológicas registradas durante el ciclo del cultivo.

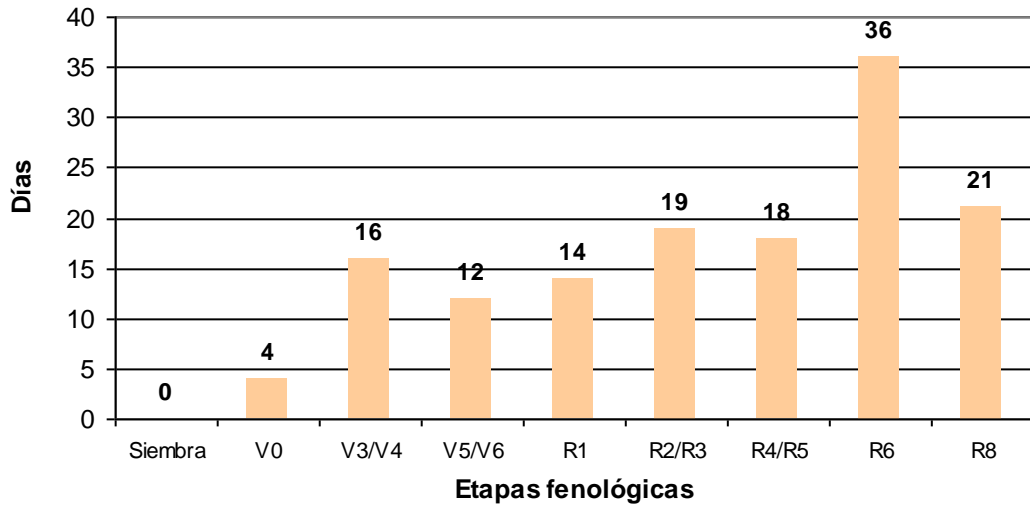


Figura 3. Duración en días de las etapas fonológicas observadas durante el ciclo del cultivo de maní (Siembra = 06/12/03).

Fue evidente la respuesta del cultivo a la fecha de siembra tardía respecto de aquella considera normal en esta región, ya que si bien las condiciones meteorológicas registradas durante la estación de crecimiento le permitieron un desarrollo fenológico casi normal, el ciclo del cultivo experimentó un acortamiento de 15 días respecto a valores promedio de 20 años correspondientes a siembras realizadas el 10 de noviembre en las que la duración del ciclo fue de 155 días (Pedelini y Casini, 1998).

6.5. Balance de agua

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran los valores de los componentes del balance hídrico utilizados para calcular la ETR en cada intervalo discreto de medición durante el ciclo del cultivo en el tratamiento 1x2 y para cada sistema de labranza evaluado, respectivamente.

Tabla 1. Labranza reducida.

DDS	Lámina	Drenaje	Lámina almacenada	Δ lámina	Lluvia	Esc. *	Lluvia Efectiva	ETR
4	267,00	89,61	177,39		47,20	9,26	37,94	
17	225,00	47,61	177,39	0,00	75,60	17,04	58,56	58,56
30	249,00	71,61	177,39	0,00	81,20	8,28	72,92	131,48
41	211,00	33,61	177,39	0,00	26,20	0,53	25,67	157,15
53	195,00	17,61	177,39	0,00	30,20	0,06	30,14	187,29
64	241,00	63,61	177,39	0,00	88,60	13,92	74,68	261,97
76	221,00	43,61	177,39	0,00	60,60	11,76	48,84	310,81
85	146,30	0,00	146,30	31,09	15,20	0,03	15,17	357,07
98	157,50	0,00	157,50	-11,20	29,00	0,39	28,61	374,48
111	128,75	0,00	128,75	28,75	9,80	0,00	9,80	413,03
123	190,00	12,61	177,39	-48,64	113,20	24,29	88,91	453,30
134	179,30	1,91	177,39	0,00	21,20	3,00	18,20	471,50
Total					598,00	88,56	509,44	471,50

*Esc.= escurrimiento superficial

Tabla 2. Labranza convencional.

DDS	Lámina	Drenaje	Lámina almacenada	Δ lámina	Lluvia	Esc. *	Lluvia Efectiva	ETR
4	239,81	62,42	177,39		47,20	9,26	37,94	
17	219,55	42,16	177,39	0,00	75,60	17,04	58,56	58,56
30	230,60	53,21	177,39	0,00	81,20	8,28	72,92	131,48
41	196,00	18,61	177,39	0,00	26,20	0,53	25,67	157,15
53	196,75	19,36	177,39	0,00	30,20	0,06	30,14	187,29
64	222,54	45,15	177,39	0,00	88,60	13,92	74,68	261,97
76	211,59	34,20	177,39	0,00	60,60	11,76	48,84	310,81
85	145,24	0,00	145,24	32,15	15,20	0,03	15,17	358,13
98	134,66	0,00	134,66	10,58	29,00	0,39	28,61	397,32
111	118,49	0,00	118,49	16,17	9,80	0,00	9,80	423,29
123	150,00	0,00	150,00	-31,51	113,20	24,29	88,91	480,69
134	142,28	0,00	142,28	7,72	21,20	3,00	18,20	506,61
Total					598,00	88,56	509,44	506,61

*Esc.= escurrimiento superficial

Tabla 3. Labranza directa.

DDS	Lámina	Drenaje	Lámina almacenada	Δ lámina	Lluvia	Esc. *	Lluvia Efectiva	ETR
4	254,83	77,44	177,39		47,20	9,26	37,94	
17	223,07	45,68	177,39	0,00	75,60	17,04	58,56	58,56
30	207,15	29,76	177,39	0,00	81,20	8,28	72,92	131,48
41	202,47	25,08	177,39	0,00	26,20	0,53	25,67	157,15
53	195,97	18,58	177,39	0,00	30,20	0,06	30,14	187,29
64	251,22	73,83	177,39	0,00	88,60	13,92	74,68	261,97
76	231,02	53,63	177,39	0,00	60,60	11,76	48,84	310,81
85	160,60	0,00	160,60	16,79	15,20	0,03	15,17	342,77
98	172,46	0,00	172,46	-11,86	29,00	0,39	28,61	359,52
111	131,24	0,00	131,24	41,22	9,80	0,00	9,80	410,54
123	179,00	1,61	177,39	-46,15	113,20	24,29	88,91	453,30
134	186,23	2,84	177,39	0,00	21,20	3,00	18,20	471,50
Total					598,00	88,56	509,44	471,50

*Esc.= escurrimiento superficial

Las Tablas 4, 5 y 6 por su parte, contienen los valores de los componentes del balance hídrico utilizados para calcular la ETR en cada intervalo de medición durante el ciclo del cultivo en el tratamiento 1x4 y los respectivos sistemas de labranzas.

Tabla 4. Labranza reducida.

DDS	Lámina	Drenaje	Lámina almacenada	Δ lámina	Lluvia	Esc. *	Lluvia Efectiva	ETR
4	236,69	59,30	177,39		47,20	9,26	37,94	
17	199,96	22,57	177,39	0,00	75,60	17,04	58,56	58,56
30	207,71	30,32	177,39	0,00	81,20	8,28	72,92	131,48
41	187,95	10,56	177,39	0,00	26,20	0,53	25,67	157,15
53	174,46	0,00	174,46	2,93	30,20	0,06	30,14	190,22
64	199,75	22,36	177,39	-2,93	88,60	13,92	74,68	261,97
76	175,74	0,00	175,74	1,65	60,60	11,76	48,84	312,46
85	136,00	0,00	136,00	39,74	15,20	0,03	15,17	367,37
98	138,32	0,00	138,32	-2,32	29,00	0,39	28,61	393,66
111	110,90	0,00	110,90	27,42	9,80	0,00	9,80	430,88
123	223,20	45,81	140,00	-29,10	113,20	24,29	88,91	490,69
134	207,44	30,05	150,00	-10,00	21,20	3,00	18,20	498,89
Total					598,00	88,56	509,44	498,89

*Esc.= escurrimiento superficial

Tabla 5. Labranza convencional.

DDS	Lámina	Drenaje	Lámina almacenada	Δ lámina	Lluvia	Esc. *	Lluvia Efectiva	ETR
4	225,26	47,87	177,39		47,20	9,26	37,94	
17	194,71	17,32	177,39	0,00	75,60	17,04	58,56	58,56
30	206,19	28,80	177,39	0,00	81,20	8,28	72,92	131,48
41	192,02	14,63	177,39	0,00	26,20	0,53	25,67	157,15
53	149,82	0,00	149,82	27,57	30,20	0,06	30,14	214,86
64	200,24	22,85	177,39	-27,57	88,60	13,92	74,68	261,97
76	187,42	10,03	177,39	0,00	60,60	11,76	48,84	310,81
85	123,19	0,00	123,19	54,20	15,20	0,03	15,17	380,18
98	114,75	0,00	132,23	-9,04	29,00	0,39	28,61	399,75
111	120,91	0,00	120,00	12,23	9,80	0,00	9,80	421,78
123	167,00	0,00	167,00	-47,00	113,20	24,29	88,91	463,69
134	192,07	14,68	140,00	27,00	21,20	3,00	18,20	508,89
Total					598,00	88,56	509,44	508,89

*Esc.= escurrimiento superficial

Tabla 6. Labranza Directa.

DDS	Lámina	Drenaje	Lámina almacenada	Δ lámina	Lluvia	Esc.	Lluvia Efectiva	ETR
4	240,37	63,01	177,36		47,20	9,26	37,94	
17	213,23	35,87	177,36	0,00	75,60	17,04	58,56	58,56
30	217,27	39,91	177,36	0,00	81,20	8,28	72,92	131,48
41	198,04	20,68	177,36	0,00	26,20	0,53	25,67	157,15
53	179,53	2,17	177,36	0,00	30,20	0,06	30,14	187,29
64	230,68	53,32	177,36	0,00	88,60	13,92	74,68	261,97
76	217,59	40,23	177,36	0,00	60,60	11,76	48,84	310,81
85	151,71	0,00	151,71	25,65	15,20	0,03	15,17	351,63
98	152,28	0,00	152,28	-0,57	29,00	0,39	28,61	379,67
111	120,22	0,00	120,22	32,06	9,80	0,00	9,80	421,53
123	203,41	26,05	130,00	-9,78	113,20	24,29	88,91	500,66
134	231,53	54,17	122,00	8,00	21,20	3,00	18,20	526,86
Total					598,00	88,56	509,44	526,86

*Esc.= escurrimiento superficial

Para analizar los resultados de cada tratamiento de rotación y sistema de labranza (Tabla 7) se presentan los valores promedio de cada combinación. No hubo marcadas diferencias tanto entre las rotaciones como entre los sistemas de labranzas evaluados. Esta aparente ausencia de efectos puede adjudicarse a la cantidad de lluvia recibida durante el ciclo del cultivo (598 mm) que posibilitó una evapotranspiración total similar para las distintas situaciones experimentales con sólo 28.4 mm de diferencia entre los valores extremos registrados (483.2 mm promedio de la rotación 1x2 y 511.6 mm promedio de la rotación 1x4).

Tabla 7. Valores de ETR promedio de cada combinación entre rotación y sistemas de labranza.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	471.5	506.6	471.5	483.2
1x4	498.9	508.9	526.9	511.6
<i>Promedio</i>	485.2	507.8	499.2	

De modo similar, la comparación entre labranzas arrojó una leve superioridad de LC (507.8 mm) respecto a las otras dos que alcanzaron valores similares entre sí (LR 485.2 mm y LD 499.2 mm). Estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Micucci *et al.* (2002), quienes mostraron que la siembra directa al mantener cobertura superficial y mejorar en el corto plazo la estructura de los primeros centímetros del suelo modifica también las propiedades relacionadas con el balance de agua en el suelo.

Analizando las combinaciones rotación x labranza la mayor ETR se registró en 1x4-LD (526,9 mm) y la menor en 1x2-LR y 1x2-LD ambas con 471.5 mm cada una.

El promedio general de ETR (497,4 mm) resultó inferior al valor referenciado por Pedellini y Casini (1998) para la obtención de un rendimiento máximo de este cultivo (~700 mm de consumo de agua). Estos autores en dos ciclos agrícolas indican bajo condiciones de secano 503,5 mm durante todo el ciclo para un rendimiento promedio de 3157 kg/ha; y bajo riego 691,5 mm y un rendimiento de 5732,5 kg/ha.

6.6. Evapotranspiración, evaporación y transpiración

A los valores de área foliar, obtenidos en forma paralela a este estudio para intervalos discretos durante el ciclo del cultivo, se le ajustaron funciones polinómicas que luego se usaron para estimar la proporción relativa de interceptación de la radiación incidente (coeficiente α de la ecuación 9). Este coeficiente fue usado para separar la ETR en

sus dos componentes (evaporación del suelo y transpiración del cultivo) a escala diaria (ecuaciones 10 y 11). La Tabla 8 ilustra los valores finales de IAF para cada combinación de rotación y sistema de labranza.

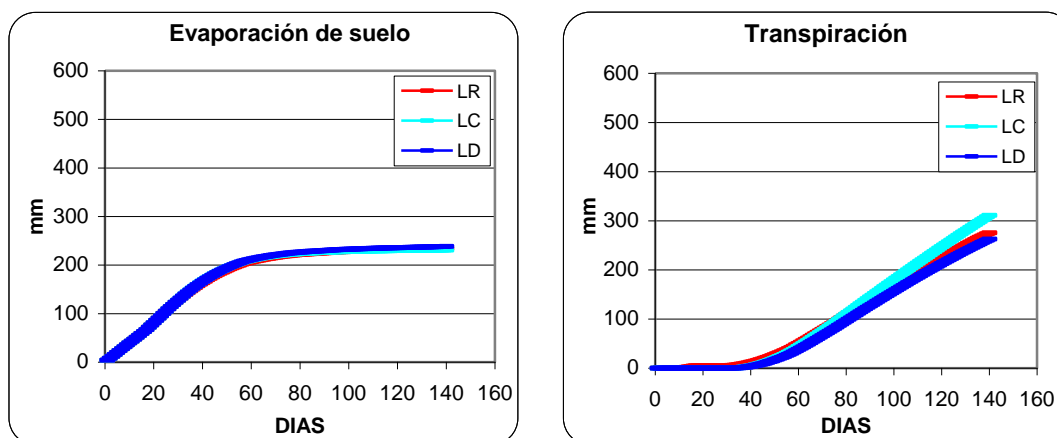
Tabla 8. Valores de IAF al final del ciclo del cultivo (140 DDS) en las seis combinaciones de rotación y labranza.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	3.5	4.6	3.8	3.9
1x4	4.1	4.6	4.8	4.5
<i>Promedio</i>	3.8	4.6	4.3	

Hubo diferencias entre rotaciones con ligera ventaja para la más larga (IAF 4.5) respecto a la rotación corta (1x2) que alcanzó un IAF de 3.9. Entre labranzas, LC tuvo el valor mayor con 4.6 seguido de LD (4.3) y LR (3.8).

6.7. Curvas ajustadas de ETR, evaporación de suelo y transpiración

Las Figuras 4 y 5 muestran las curvas ajustadas de ETR, evaporación del suelo y transpiración para cada combinación de rotación y labranzas en el ciclo completo del cultivo.



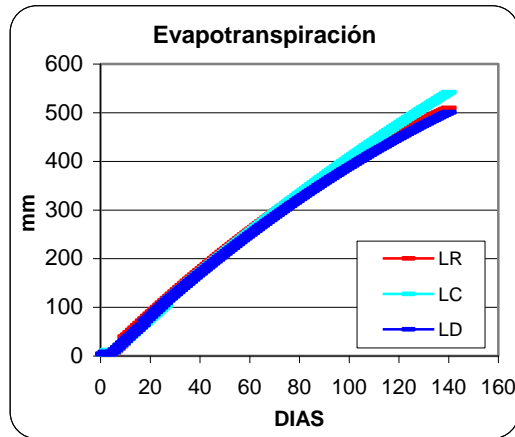


Figura 4. Curvas calculadas de evaporación del suelo, transpiración y ETR de cada sistema de labranza en la rotación corta (1x2). (LR) Labranza reducida, (LC) Labranza convencional y (LD) Labranza directa.

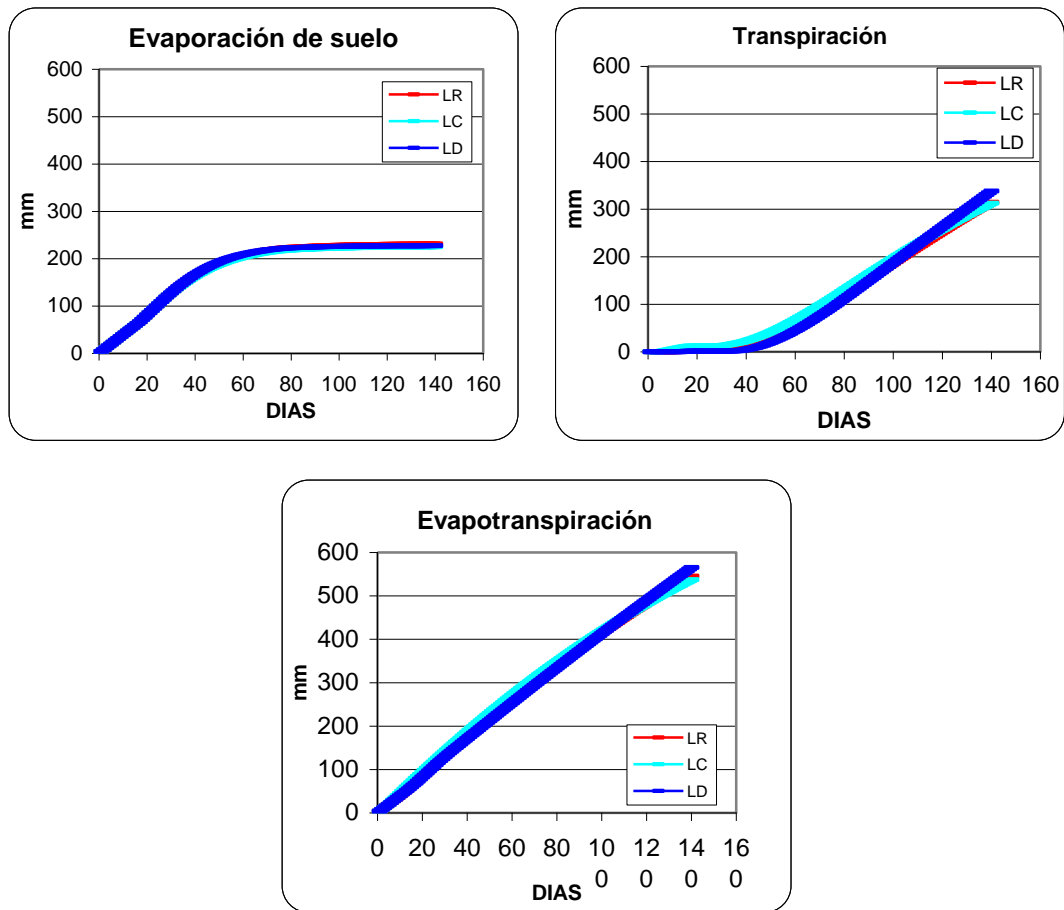


Figura 5. Curvas calculadas de evaporación del suelo, transpiración y ETR de cada sistema de labranza en la rotación larga (1x4). (LR) Labranza reducida, (LC) Labranza convencional y (LD) Labranza directa.

Como muestran las Figuras 4 y 5, la evaporación de suelo tuvo en promedio una tasa de incremento alta hasta los 50 DDS. Entre los 50-70 DDS los valores disminuyeron significativamente hasta los 95-100 DDS coincidiendo este periodo con el cierre del surco por el cultivo (datos no mostrados). Los factores estudiados (rotaciones y labranza), no mostraron diferencias importantes durante todo el ciclo del cultivo para todos los tratamientos.

En esas figuras se presenta también la marcha de la transpiración durante el ciclo del cultivo para las rotaciones 1x2 y 1x4, respectivamente. En todos los casos la tasa de agua transpirada fue muy baja al principio y a partir de los 30 DDS comenzó a crecer alcanzando un pico entre los 80 y 100 DDS. La rotación 1x4 superó en promedio 38,4 mm a la rotación 1x2 en todo el ciclo.

A partir de los 60 DDS LC-1x2 superó ligeramente a las otras labranzas llegando a los 85 DDS con una tasa transpiratoria de 3,53 mm/día; mientras que LD-1x2 y LR-1x2 transpiraban en ese momento 3,08 mm/día. Esa diferencia se mantuvo hasta los 140 DDS (Figura 4). La transpiración de LD-1x4 (Figura 5) fue menor al comienzo respecto a la LC-1x4 y LR-1x4, y a partir de los 30 DDS comenzó a aumentar y desde los 100 DDS superó levemente a las otras labranzas.

La evapotranspiración fue similar en ambas rotaciones, mostrando un crecimiento casi lineal en el tiempo hasta aproximadamente los 80 DDS y luego continuó con incrementos decrecientes. Las diferencias observadas a favor de la rotación 1x4 fue debida a la transpiración del cultivo, ya que la evaporación de suelo se comportó de igual manera en todos los tratamientos.

Las Tablas 9, 10 y 11 presentan los valores acumulados al final del ciclo del cultivo de ETR, evaporación del suelo y transpiración, respectivamente obtenidos de las curvas ajustadas y para cada combinación rotación x labranza.

Tabla 9. Valores de ETR acumulada (mm) al final del ciclo (140 DDS) para las seis combinaciones de rotación y labranza.

Rotaciones	LABRANZA			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	509,5	541,9	501,0	517,5
1x4	545,4	537,4	565,2	549,3
<i>Promedio</i>	527,4	539,7	533,1	

Al igual que la ETR real calculada a partir de los datos discretos (ver Tabla 7), la ETR estimada presentó diferencias mínimas entre labranzas y rotaciones, con valores que

variaron entre un mínimo de 501.0 mm y un máximo de 565.2 mm para el conjunto de las seis combinaciones evaluadas. Giayetto *et al.* (2005) reportaron valores similares (588 mm).

Tabla 10. Valores de evaporación del suelo acumulada (mm) al final del ciclo (140 DDS) para las seis combinaciones de rotación y labranza.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	233,9	230,9	238,4	234,4
1x4	231,2	225,0	227,4	227,9
Promedio	232,6	227,9	232,9	

Fue notoria la poca diferencia entre las labranzas donde la evaporación representó entre el 42.3 y el 44.2 % de la ETR total estimada. Entre rotaciones esta proporción fue ligeramente superior en la secuencia 1x2 (45.4% de la ETR estimada respecto a 41.5% en la rotación 1x4).

Estos resultados concuerdan con lo expresado por Cooper *et al.* (1987) quien resalta que en condiciones de campo generalmente existe una alternancia de las fases I y II del proceso de evaporación del suelo que tornan inciertos los beneficios de la práctica de mantener rastrojos en superficie ya que la evaporación del suelo con y sin rastrojo tiende a igualarse.

Tabla 11. Valores de transpiración (mm) acumulada al final del ciclo (140 DDS) de las seis combinaciones de labranza y rotación.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	275,5	311,0	262,7	283,1
1x4	314,2	312,4	337,8	321,5
Promedio	294,9	311,7	300,2	

Se aprecia que la LC superó en 16,8 y 11,5 mm a LR y LD, respectivamente y que la rotación 1x4 hizo lo propio respecto a la secuencia 1x2 con 38,4 mm más de transpiración acumulada. En cuanto a las distintas combinaciones de rotaciones y labranzas, la mayor transpiración estimada correspondió a 1x4-LD (337.8 mm) y la menor a 1x2-LD (262.7 mm).

6.8. Biomasa aérea total acumulada a cosecha

Una medida del crecimiento del cultivo es la biomasa acumulada a cosecha cuyos valores se presentan en la Tabla 12 para las seis combinaciones de rotaciones y labranzas evaluadas.

Tabla 12. Valores de biomasa aérea acumulada (Kg/ha) al final del ciclo del cultivo (140 DDS) para las seis combinaciones de labranza y rotación.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	4659 c	6048 b	4742 c	5150
1x4	6352 b	6081 b	7730 a	6721
Promedio	5505	6065	6236	

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas al 0.05 % (test de Duncan)

Se registró interacción entre los factores ($p=0.0138$), la tabla 12 muestra la diferencia de medias según test de Duncan (5%). Por su parte hubo diferencias estadísticas altamente significativas entre rotaciones, donde la secuencia 1x4 superó a la rotación 1x2 ($p=.0001$); mientras que entre sistemas de labranza no se encontró diferencias estadísticas significativas ($p=0.2121$).

Estos valores son inferiores a los reportados por Cerioni (2003) en un estudio sin limitaciones hídricas en Río Cuarto y mayores a los obtenidos por Cavigliasso (2006) en la misma zona de estudio.

6.9. Eficiencia de uso del agua

6.10. Biomasa aérea

Con los datos de biomasa aérea total acumulada a cosecha y los valores de ETR estimada (Tabla 9) se calculó la EUA cuyos resultados se consignan en la Tabla 13.

Tabla 13. Eficiencia de uso del agua (EUA, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) de la biomasa aérea producida en las seis combinaciones de labranza y rotación.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	9,10	11,16	9,46	9,91
1x4	11,64	11.31	13.67	12.20
Promedio	10,37	11.23	11.56	

La diferencia entre los sistemas de labranzas fue mínima en contraposición con los resultados de Casini y Haro (2000) quienes señalan que la EUA útil fue superior bajo sistemas de siembra directa y labranza reducida respecto a la observada hasta ahora con labranza tradicional. Sin embargo, sí hubo una superioridad de la rotación 1x4 respecto a la secuencia 1x2 ($2.29 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) mientras que la mayor EUA se produjo en la combinación 1x4-LD con $13.67 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Si se relaciona la biomasa acumulada a cosecha (Tabla 12) con la transpiración calculada a partir de las ecuaciones 10 y 11, es posible estimar la eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr) (Tabla 14). Del mismo modo que lo señalado para la EUA calculada con los valores de ETR medidos en este estudio, la EUTr no mostró diferencias entre sistemas de labranza pero sí entre rotaciones donde la secuencia 1x4 estuvo $2.72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ por encima de la 1x2. Estos valores son inferiores a los reportados por Giayetto *et al.* (2005) ($31,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}/\text{mm}^{-1}$).

Tabla 14. Eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) de la biomasa producida en las seis combinaciones de labranza y rotación.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	16,9	19,45	18,05	18,13
1x4	20,22	19,45	22,88	20,85
Promedio	18,56	19,45	20,46	

6.11. Rendimiento de frutos y semillas

Para el rendimiento de frutos y semillas se detectó interacción significativa rotación x labranza, siendo la combinación 1x4-LD la que alcanzó el mayor valor en ambos casos. En el otro extremo del gradiente se ubicaron las combinaciones 1x2-LD y 1x2-LR con los menores rendimientos de frutos y de semillas sin diferencias entre ellas. Los demás tratamientos alcanzaron valores intermedios como se observa en la figura 6. Estos datos guardan relación con los valores de ETR y de transpiración cuando se los compara agregados a nivel de rotaciones, ya que ambos fueron mayores en la secuencia 1x4 respecto a 1x2. Se vinculan, además, con la biomasa aérea producida que también fue mayor en la rotación larga.

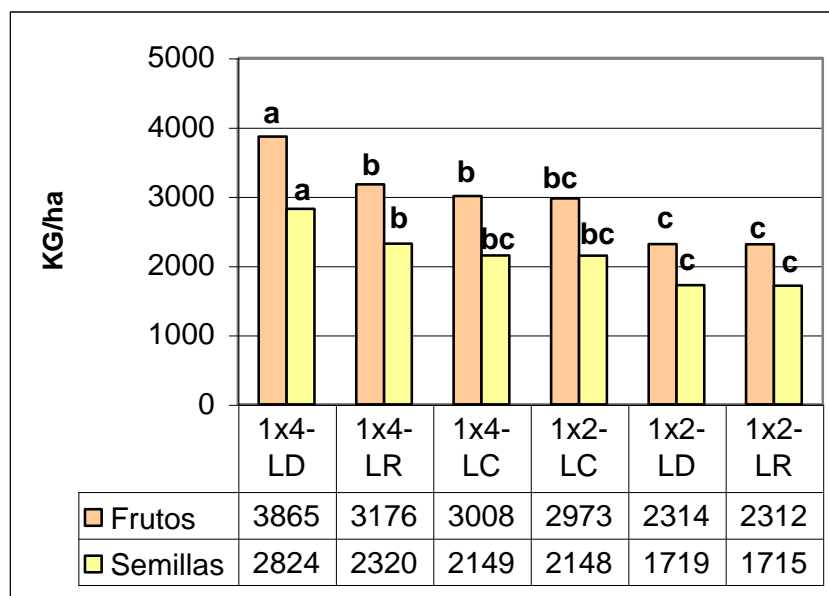


Figura 6. Rendimientos de frutos y semillas en tres sistemas de labranzas y dos rotaciones (1x2, maní-maíz y 1x4, maní-maíz-soja-maíz). Letras diferentes en cada grupo de columnas indican diferencias estadísticamente significativas al 0.05 % (test de Duncan).

Cuando se analiza la eficiencia del uso del agua transpirada por el cultivo en relación al rendimiento de frutos y semillas, se encuentra una respuesta debida a la rotación con valores mayores para la secuencia 1x4 en ambos casos. No hubo efecto significativo de las labranzas, aunque se observa una tendencia a aumentar la EUA transpirada con la LD. De hecho, tanto para rendimiento de frutos como de semillas los mayores valores de EUA transpirada se produjeron en la combinación 1x4-LD con 11.4 y 8.4 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, respectivamente (Tablas 15 y 16).

Tabla 15. Eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) para rendimiento de frutos en las seis combinaciones de labranza y rotación.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	8,4	9,6	8,8	8,9
1x4	10,1	9,6	11,4	10,4
Promedio	9,2	9,6	10,1	

Tabla 16. Eficiencia de uso del agua transpirada (EUTr, kg.ha⁻¹.mm⁻¹) para rendimiento de semillas en las seis combinaciones de labranza y rotación.

Rotaciones	Labranzas			Promedio
	LR	LC	LD	
1x2	6,2	6,9	6,5	6,6
1x4	7,4	6,9	8,4	7,5
Promedio	6,8	6,9	7,5	

Una rotación en la que maní se cultiva cada cuatro años (maní-maíz-soja-maíz-maní) posibilita realizar un mejor control sanitario (malezas, enfermedades y plagas) y la participación de gramíneas (maíz, en este caso) proporciona cobertura de rastrojo y contribuye al mejoramiento de la estructura del suelo por efecto de su sistema radical. Uberto *et al.* (2001) señalan, además, que la rotación con gramíneas mejora las condiciones hidrofísicas del suelo aumentando el contenido de agua disponible y la velocidad de infiltración final, especialmente en sistemas de siembra directa y de labranza reducida. Las rotaciones largas con siembra directa acumulan mayor cobertura superficial y recuperan en el corto plazo la estructura de los primeros centímetros del suelo mejorando las propiedades relacionadas con el balance de agua en el suelo. Similares resultados encuentra Micucci *et al.* (2002).

7. CONCLUSIONES

- La combinación de una rotación larga, en la que maní participa una vez cada 4 años, con un sistema de labranza cero (LD) produjo la mayor biomasa total y el mayor rendimiento de frutos y semillas del cultivo superando significativamente a las otras combinaciones.
- Ese comportamiento productivo se correspondió con la cantidad de agua evapotranspirada y transpirada y con las eficiencias de uso del agua y transpiratoria que mostraron los mayores valores en LD y 1x4 y los menores para LC y 1x2.
- Se recomienda continuar con la validación del efecto de rotaciones y labranzas en la nueva región de la provincia donde se localiza actualmente la producción de maní.

8. BIBLIOGRAFÍA

- BALDWIN, JUL., ana J. HOOK.1998. Reduced tillage systems for peanut production in Georgia. Proc. Am. Peanut Res. Educ. Soc. 30:48.
- BENNETT, J.M., K.J. BOOTE y L.C. HAMMOND, 1984. Relationships among water potentials components, relative water content, and stomatal resistance of field grown peanuts leaves. *Peanut Sci.* 11: 31-35.
- BONADEO, E. 1997. Efectos de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba sobre el comportamiento del cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.). Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Escuela para Graduados. BA-INTA.
- BRANDENBURG, R.L., D.A. HERBERT, Jr., G.A. SULLIVAN, G.C. NADERMAN, and S.F. WRIGHT. 1998. The impact of tillage practices on thrips injury of peanut in North Carolina and Virginia. *Penaut Sci.* 25:27-31.
- CASINI, C. y R. HARO. 2000. Efecto de la siembra directa de maní, dentro de un sistema de labranza cero de soja y maíz, sobre la producción y calidad del grano apto para alimento humano. Publicado en la Décimo Quinta Jornada Nacional de Maní, 14 de septiembre del 2000. p 36.
- CAVIGLIASO, G. 2006. Riego suplementario y fertilizacion nitrogenada en el cultivo de mani (*Arachis hypogaea* L.) en la zona de cabrera. Trabajo final de grado. FAV-UNRC.
- CERIONI, G. 2003. Déficit hídrico en la etapa reproductiva del maní (*Arachis hypogaea* L.) su influencia sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad. Tesis. Facultad de agronomía y veterinaria, Universidad Nacional de Rio Cuarto.
- COLLINO, D. J., DARDANELLI, J. L., SERENO, R., RACCA, R. W., 2001.Physiological responses of Argentine peanut varieties to water stress, light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. *Field Crops Res.* 70, 177-184.
- COOPER, P. J., J. D. KEATRING, y G.HUGHES 1983. Crop evapotranspiration -a techinque for calculating its components by field measurements. *Field Crops Res.*, 7: 299-312.
- COOPER, P.J.M.; P.J. GREGORY; D. TULLY and H.C. HARRIS. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of west Asia and north Africa. *Expl Agric.* 23:113-158.
- COX, F.R., and J.R. SHOLAR. 1995. Site selection, land preparation, and management of soil fertility. p. 7-10. In H.A. Melouk and F.M.Shokes (ed.) *Peanut health management.* The Am. Phytopathological Soc., St. Paul, MN.

- DARDANELLI, J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En: Panigatti J.L., Marelli H., D Buschiazzo y R. Gil (Eds.) Siembra Directa. Editorial Hemisferio Sur, INTA. p107-115.
- de WIT, C. T. 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Landbouwk. Onderz. Rijkslandb Proefsin, 64.6.
- GARDNER, F. P., R. B. PEARCE y R. L. MITCHEL 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, Iowa, U.S.A. p327.
- GIAMBASTIANI, G 1998. Calidad fisiológica de las semillas de maní obtenidas con diferente disponibilidad hídrica en el cultivo de madre. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Agropecuarias- Universidad Nacional de Córdoba.
- GIAYETTO, O., CERIONI, G., y AMIN, M.S 2005. Water use, Growth and pod yield of two peanut cultivars under different interrow spacings. Journal of peanut Science, vol. 34, No. 1.
- GIAYETTO, O., CISNEROS, J. M., CERIONI, G. y C. CHOLAKY. 1998. Rotaciones y labranzas en sistemas agrícolas del centro de Argentina. Producción de cultivos. En: Balbuena, R. H., Benez, S. H. y Jorajuría D. (Eds.) Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano. ISBN 950-34-0125-9. Publicado por Editorial de la UNLP, 111-119.
- GIAYETTO, O., CERIONI, G., ASNAL, W. y CISNEROS, J.M. 1996. Respuestas de los cultivos al efecto combinado de secuencias anuales y labranzas en sistemas agrícolas. Actas de la XI Jornada Nacional de Maní. General. Cabrera
- GIAYETTO, O., ASNAL, W.E., CERIONI, G.A., y AMIN, S. 1995. Respuesta del maní (*Arachis hypogaea* L.) a diferentes modelos de siembra en la región centro-sur de Córdoba. Resúmenes de la 10a. Jornada Nacional del Maní, Gral. Cabrera, p. 6-7.
- GRICHAR, W.J., 1998. Long-term effects of three tillage systems on peanut grade, yield, and stem rot development. Peanut Sci. 25:59-62.
- HARTZOG, D.L., J.F. ADAMS, and B. GAMBEL. 1998. Alternative tillage systems for peanut. Proc. Am. Peanut Res. Educ. Soc. 30:49.
- JORDAN, D.L., PARTRIDGE, D.E., BARNES, S., BOGLE, C.R., HURR, C.A., BRANDENBURG, R.L., BULLEN, S.G., JOHNSON, P.D. 2004. Peanut response to tillage and rotation in North Carolina. 26th Southern Conservation Tillage Conference.

- JORDAN, D.L., W.J., BAILEY, BARNES, J.S., BOGLE C.R., J.S., BULLEN, S.G., BROWN, A.B., EDMISTEN, K.L., DUMPHY, E.J., JOHNSON, P.D. 2002. Yield and economic return of ten peanut-based cropping system. *Agronomy Journal* 94: 1289-1294.
- KETRING, D.L. 1979. Light effects on development of an indetermination plant. *Plant Physiology*, 64, 665-667.
- MA, L.; GARDNER, F.P. ; Y SELAMAT, A. 1992. Estimation of Leaf Area from Leaf and Total Mass Measurements in Peanut. *Crop Sci.* 32, 467-471.
- MICUCCI, F.G, D. COSENTINO y M. A. TABOADA 2002. Impacto de las labranzas sobre los flujos de agua y los tamaños de poros en dos suelos de la pampa ondulada. XVIII CNCS, Puerto Madryn, Argentina.
- NADERMAN, G.C. 1998. Comparison of peanut yields under no-tillage, strip tillage, and several forms of conventional tillage. *Proc. Am. peanut Res. Educ. Soc.* 30:48.
- PEDELINI R. y C. CASINI 1998. Manual de maní. Tercera edición. EEA-INTA-MANFREDI.
- RAVELLO, A., y SEILER, R.A. 1995. Agroclima de la provincia de Córdoba. Expectativa de precipitación en el curso del año 1978/79. *Revista RIA*, XIV (3): 71-136. Secretaría de Agricultura de la Provincia.
- SALAS EP, NUÑEZ VAZQUEZ, F y BALZARINI, M. 1993. Ensayo de rotación de cultivos en Manfredi. Análisis de los rendimientos de girasol, sorgo, soja y maní en monocultivo y secuencias bienales. *Actas del XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Mendoza.
- SAGyP - Bolsa de Cereales Número estadístico (1998/1999 - 1999/2000). Buenos Aires: República Argentina.
- SHOLAR, R.E., J.P. DAMICONE, B.S. LANDGRAF, J.L. BAKER, and J.S. KIRBY. 1993. Comparison of peanut tillage practices in Oklahoma. *Proc. Am. Peanut Res. Educ. Soc.* 25-71.
- SOIL SURVEY STAFF : Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and interpreting Soil Surveys. USDA. 1975.
- UBERTO, M. E., M. J. CISNEROS, C. VIGNOLO, C. CHOLAKY y R. PEDELINI 2002. Influencia de tres sistemas de labranzas en algunas propiedades físicas de suelo en rotaciones con maní. Publicado en la Décimo Séptima Jornada Nacional de Maní, 19 de septiembre de 2002. p 48.
- UBERTO, M. E., M. J. CISNEROS, C. VIGNOLO, C. CHOLAKY y R. PEDELINI 2001. Recuperación de la productividad en tierras del área núcleo manicera I. Propiedades

físicas. Publicado en la Décimo Sexta Jornada Nacional de Maní, 27 de septiembre del 2001. p 16.

WILLIAMS, E.J., S. WILTON, M.C. LAMB, and J.I.DAVINSON. 1998. Effects of selected practices for reduced tillage peanut yield, disease, grade, and net revenue. Proc. Am. Peanut Res. Educ. Soc. 30:49.

WRIGHT, D., MAROIS, J., KATSVAIRO, T., WIATRAK, P and RICH, J. 2005. Sod based rotations – The next step after conservation tillage. 27th Southern Conservation Tillage Systems Conference. Clemson University.

WRIGHT, D.L., MAROIS, J.J., RICH, J. R., SPRENKEL, R.K., WHITTY, E.B. 2002. Conservation Tillage Peanut Production. SS-AGR-185. Agronomy Department, Florida Cooperative Extensión Service. University of Florida.

WRIGHT, F.S.,and D.M.PORTER. 1995. Conservation tillage and cultivar influence on peanut production. Peanut Sci. 22:120-124.