



**Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria**

“Trabajo Final presentado
Para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**RENDIMIENTO DE MAÍZ SEMBRADO EN CURVAS DE NIVEL EN
FUNCIÓN DEL CONTENIDO HIDRICO EDAFICO**

**ALUMNO: Gastón E. Colombo
DNI 30990171**

**DIRECTOR: Msc . Jorge G. Gonzalez
CO-DIRECTOR: Msc. Carmen Cholaky**

**Río Cuarto-Córdoba.
Agosto de 2011**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título Del Trabajo Final:

**Rendimiento de maíz sembrado en curvas de nivel en función del contenido hídrico
edáfico.**

Autor: GASTÓN E. COLOMBO

Director: Msc. JORGE G. GONZALEZ

Co-director: Msc. CARMEN CHOLAKY

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

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo constante, el esfuerzo incansable para brindarme todo lo necesario y por ayudarme a cumplir el objetivo como estudiante y como persona.

A Jorge Gonzalez y Carmen Cholaky mis directores de tesis por la gran ayuda obtenida, la dedicación en todo momento y más importante por conocer de ellos dos grandes personas.

A la universidad nacional de Rio Cuartó por la formación académica brindada.

ÍNDICE GENERAL

| | Paginas |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Certificado de Aprobación | I |
| Dedicatoria y Agradecimientos | II |
| Índice | III |
| Resumen | 1 |
| Summary | 2 |
| CAPITULO 1. | |
| Introducción | |
| 1.1 Planteo del problema a estudiar | 3 |
| 1.2 Otros antecedentes | 4 |
| 1.3 Hipótesis y Objetivos | 13 |
| CAPITULO 2. | |
| Materiales y Métodos | 14 |
| CAPITULO 3. | |
| Resultados y Discusiones | |
| 1.3 3.1-Lámina total de agua almacenada promedio durante el ciclo del cultivo | 27 |
| 1.4 3.2- Lámina total de agua almacenada en cada fecha de muestreo | 29 |
| 1.5 3.3- Rendimiento del cultivo de maíz en madurez de cosecha | 50 |
| 1.6 3.4- Balance de agua | 51 |
| 1.7 3.5- Eficiencia del uso del agua | 53 |

| | |
|--------------------|----|
| CAPITULO 4. | |
| Conclusiones | 55 |
| CAPITULO 5. | |
| Recomendaciones | 56 |
| CAPITULO 6. | |
| Bibliografía | 57 |
| Anexos | 61 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Área experimental donde se llevo a cabo el proyecto de tesis | 14 |
| Figura 2. Precipitación media normal (serie 1977-2006) y precipitación durante la Campaña 2009-2010 (mm). | 16 |
| Figura 3. Plano de las curvas de nivel con los diferentes puntos relevados en el campo | 19 |
| Figura 4. Líneas de siembra del lote, Curvas guías o madres paralelizadas | 20 |
| Figura 5. Croquis del área experimental de campo | 21 |
| Figura 6. Lámina total de agua almacenada en el perfil, promedio del ciclo del cultivo de Maíz en función del manejo del relieve para la pendiente del 3% | 28 |
| Figura 7. Lámina total de agua almacenada en cada fecha de muestreo para los tratamientos de 3% en curvas de nivel y 3% a favor de la pendiente con sus respectivas laminas A Capacidad de campo y punto de marchites permanente | 29 |
| Figura 8. Lamina total de agua almacenada en cada fecha de muestreo para los tratamientos de 6% curvas de nivel y 6% a favor de la pendiente con sus respectiva laminas a Capacidad de campo y punto de marchites permanente | 31 |
| Figura 9. Componentes del balance de agua durante el ciclo del cultivo | 52 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Datos de calicata para el gradiente de pendiente 3% | 17 |
| Cuadro 2. Datos de calicata para el gradiente de pendiente 6%. | 17 |
| Cuadro 3. Parámetros físicos del suelo 3 % Testigo | 17 |
| Cuadro 4. Parámetros físicos del suelo 3 % curvas de nivel | 17 |
| Cuadro 5. Parámetros físicos 6% Curvas de Nivel | 18 |
| Cuadro 6. Parámetros físicos 6 % Testigo | 18 |
| Cuadro 7. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio del ciclo del cultivo, En función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente | 27 |
| Cuadro 8. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, al momento de siembra Del cultivo, en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 33 |
| Cuadro 9: Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de V1 (una hoja desarrollada), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 34 |
| Cuadro 10. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de V3 (tres hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 35 |
| Cuadro 11. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estadio enológico de V3 (tres hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 37 |
| Cuadro 12. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de V4 (cuatro hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 38 |
| Cuadro 13. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 39 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 14. Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de VT (Floración), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 41 |
| Cuadro 15. Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de R1 (emergencia de estigmas), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 44 |
| Cuadro 16. Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de R3 (maíz en grano lechoso), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 44 |
| Cuadro 17. Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de R4 (maíz en grano pastos), en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 47 |
| Cuadro 18. Lámina total de agua almacenada en el suelo al final del ciclo del cultivo, en madurez fisiológica, en función de los diferentes tratamientos de Manejo del relieve y de la pendiente | 49 |
| Cuadro 19. Rendimiento del cultivo de Maíz (Kg /ha) en madurez fisiológica, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente | 50 |
| Cuadro 20. Eficiencia del uso del agua | 53 |

INDICE DE FOTOS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Foto 1. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 3% a favor de la pendiente | 32 |
| Foto2. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 3% en curvas de nivel | 32 |
| Foto 3. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 6% en curvas de nivel | 32 |
| Foto 4. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 6% a favor de la pendiente | 33 |
| Foto 5. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V3 (Tres hojas desarrolladas) Para los tratamientos de 3 % a favor de la pendiente y 3 % en curvas de nivel | 36 |
| Foto 6. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V3 (Tres hojas desarrolladas) Para los tratamientos de 3 % en curvas de nivel | 36 |
| Foto 7. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) Para el tratamiento 3% a favor de la pendiente | 39 |
| Foto 8. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) Para el tratamiento 3% en curvas de nivel | 40 |
| Foto 9. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) Para el tratamiento 6% en curvas de nivel | 40 |
| Foto 10. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) Para el tratamiento 6% a favor de la pendiente | 40 |
| Foto 11. Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración) Para el tratamiento 6% a favor de la pendiente | 42 |
| Foto 12. Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración) Para el tratamiento 6% en curvas de nivel | 42 |
| Foto 13. Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración). Para el tratamiento 3% en curvas de nivel | 42 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Foto 14. Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración). | |
| Para el tratamiento 3% a favor de la pendiente | 43 |
| Foto 15. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso). | |
| Para el tratamiento 6% a favor de la pendiente | 45 |
| Foto 16. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) | |
| Para el tratamiento 6% en curvas de nivel | 45 |
| Foto 17. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) | |
| Para el tratamiento 3% en curvas de nivel | 46 |
| Foto 18. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) | |
| Para el tratamiento 3% a favor de la pendiente | 46 |
| Foto 19. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso). | |
| Para el tratamiento 3% a favor de la pendiente | 47 |
| Foto 20. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso). | |
| Para el tratamiento 3% en curvas de nivel | 48 |
| Foto 21. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso). | |
| Para el tratamiento 6% en curvas de nivel | 48 |
| Foto 22. Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso). | |
| Para el tratamiento 6% a favor de la pendiente | 48 |

ANEXOS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1: Análisis de Varianza de la lámina total de agua almacenada promedio Del ciclo del cultivo | 61 |
| Figura 1: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio del ciclo del cultivo | 62 |
| Cuadro 2: Análisis de varianza del contenido de humedad a la siembra | 62 |
| Figura 2: Lámina total de agua almacenada en el suelo al momento de siembra del cultivo | 63 |
| Cuadro 3: Análisis de varianza del contenido de humedad de maíz en V1 | 63 |
| Figura 3: Lámina total de agua almacenada en el suelo En el estadio fenológico de 1 hoja desarrollada en el cultivo de maíz | 64 |
| Cuadro 4: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V3 | 64 |
| Figura 4: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico. De V3 (Tres hojas desarrolladas en el cultivo de maíz) | 65 |
| Cuadro 5: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V3 | 65 |
| Figura 5: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico De 3 hojas desarrolladas en el cultivo de Maíz (V3) | 66 |
| Cuadro 6: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V4 | 66 |
| Figura 6: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de V4 (Cuatro hojas desarrolladas en el cultivo de maíz) | 67 |
| Cuadro 7: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V12 | 67 |
| Figura 7: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de V12 (12 hojas desarrolladas en el cultivo de maíz), | 68 |
| Cuadro 8: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en VT | 68 |
| Figura 8: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de VT (Floración) en el cultivo de maíz | 69 |
| Cuadro 9: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en R1 | 69 |
| Figura 9: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de R1 (Emergencia de estigmas) en el cultivo de maíz | 70 |
| Cuadro 10: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en R3 | 70 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 10: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de R3 (Maíz en grano lechoso) | 71 |
| Cuadro 11: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en R4 | 71 |
| Figura 11: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de R4 (Maíz en grano pastoso) | 72 |
| Cuadro 12: Análisis de varianza En madurez fisiológica | 72 |
| Figura 12: Lámina total de agua almacenada en el suelo en madurez de cosecha | 73 |
| Cuadro 13: Análisis de varianza del Rendimiento de maíz | 73 |
| Figura 13: Rendimiento del cultivo de Maíz (Kg /ha) en madurez fisiológica | 74 |
| Figura 14: Registro pluviométrico de la campaña 2009-2010 en el área del ensayo | 75 |
| Figura 15: Estimación inicial del umbral de escorrentía P_o (mm) | 76 |
| Figura 16: Cálculo de P_o según la precipitación antecedente | 77 |

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del manejo del relieve sobre el contenido de agua edáfica y el rendimiento de un cultivo de maíz. La experiencia fue desarrollada a 15 km al NO de Alcira Gigena, provincia de Córdoba (sobre los 32°40'33" sur y los 64°24'19" oeste). Los tratamientos combinaron dos gradientes de pendiente y dos manejos del relieve, siendo: T1: 3%, a favor de la pendiente; T2: 3% en curvas de nivel; T3: 6% en curvas de nivel y T4: 6% a favor de la pendiente. Durante el ciclo del cultivo, luego de cada precipitación superior a 10 mm, se extrajeron muestras de suelo hasta los ochenta centímetros de profundidad para determinar humedad gravimétrica y volumétrica a partir del peso específico aparente de cada horizonte y la lámina total de agua disponible almacenada en el perfil. Se determinó el rendimiento en grano y se estimó la eficiencia del uso del agua. Los resultados indicaron que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor de T2 respecto a T1, siendo la lámina total de agua almacenada en el perfil promedio del ciclo del cultivo un 33% superior en el primero que en el segundo tratamiento. El rendimiento tuvo un comportamiento similar siendo la diferencia entre estos tratamientos de un 30 % a favor de T2. Entre T3 y T4 no hubo diferencias estadísticamente significativas para ninguna de estas dos variables. Se concluye que el manejo en curvas de nivel, en la pendiente del 3%, incrementa el agua almacenada en el perfil y el rendimiento del cultivo, respecto al manejo a favor de la pendiente.

SUMMARY

The objective was to evaluate the effect of relief on the management of soil water content and crop yield of maize. The experience was developed 15 km NW of Gigena Alcira, Cordoba province (about 32 ° 40'33 "south and 64 ° 24'19" W). The treatments combined two slope gradients and two handling of the relief, as follows: T1: 3% in favor of the slope, T2: 3% contour; T3: 6% contour and T4: 6% for the slope. During the growing season, after every rainfall exceeding 10 mm, soil samples were taken to eighty feet deep to determine gravimetric and volumetric moisture from the apparent specific gravity of each horizon and the total available water sheet stored in the profile. We determined the grain yield and estimated water use efficiency. The results indicated that there were statistically significant for T2 versus T1, with the total sheet of water stored in the average profile of the crop cycle by 33% higher in the former than in the second treatment. The performance had a similar pattern as the difference between treatments of 30% for T2. Between T3 and T4 there were no statistically significant differences for any of these two variables. By comparing the effect of management on both contours of the slope gradient was observed in T2 sheet of water stored in the profile and average maize yields were higher than in T3. We conclude that management in contour, the slope of 3%, increases the water stored in the profile and crop yield with respect to the management for the slope.

1-INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEO DEL PROBLEMA A ESTUDIAR

La región en estudio presenta un relieve fuertemente ondulado que conjuntamente con precipitaciones de alta intensidad provocan un incremento de los volúmenes de escurrimiento superficial (Cantú y Becker, 1999).

Esta pérdida de agua trae como consecuencia en primer lugar una menor disponibilidad de la misma para los cultivos durante su ciclo, pudiendo presentar un déficit en algunas etapas; El agua es un elemento crítico y condicionante de la productividad de los suelos por lo tanto su manejo se debe centrar en un mejor aprovechamiento del mismo (Cisneros *et al.*, 2008).

En segundo lugar, al aumentar los volúmenes de escurrimiento se incrementan los procesos de erosión hídrica con la consiguiente disminución del horizonte más rico en materia orgánica, nutrientes etc. La disminución de la capa superficial deja en superficie horizontes o materiales subsuperficiales cuyas características suelen ser menos favorables para el crecimiento de las raíces y para el suministro de agua y nutrientes, provocando la disminución de la capacidad productiva de las tierras (Cisneros *et al.*, 2009).

Por lo tanto con la aplicación de técnicas de conservación, como el cultivo a nivel, se reduce la pérdida de suelo y además se obtiene una mayor disponibilidad de agua para los cultivos, aumentando de esta manera los rendimientos (Casas *et al.*, 2008). Esto posibilita obtener aumentos y estabilización de la producción agropecuaria al incrementar la incorporación de agua dentro del suelo para que participe en los procesos productivos (Cantero *et al.*, 1998).

El objetivo final de las técnicas de conservación es reducir o eliminar la escorrentía superficial, para evitar el arrastre de suelo, a través de la retención y detención del agua del suelo. Al detener en ellos el agua de escorrentía, lo almacenan, facilitando la infiltración y logrando que el calado de la lamina de escorrentía y su velocidad de arrastre respectivamente se mantengan dentro de los límites no erosivos o al menos poco erosivos al presentarles obstáculos en su recorrido (Minintegui Aguirre y Lopez Unzu, 1990).

Dentro de los cultivos extensivos, el maíz en especial presenta una gran sensibilidad a la falta de agua y, por ende, las prácticas de manejo del suelo y del relieve pueden tener un efecto significativo en la eficiencia en el uso del agua (EUA), (Micucci y Álvarez 2002).

La mayor disminución de los rendimientos de grano la ocasiona el déficit de agua durante el período de floración (15 días antes a 15 días después de la emergencia de los estigmas). Esto se debe a que en los primeros 15 días se define la cantidad de flores que serán

fértiles, mientras que en los segundos 15 días se define cuántas de estas flores fértiles serán granos, (Uhart y Andrade, 1995).

1.2 OTROS ANTECEDENTES

La importancia del agua para los cultivos

El agua fue considerada desde siempre, como el factor que más incide en la producción de alimentos en el mundo. Por lo tanto, se debe saber producir haciendo un uso eficiente del recurso más escaso, el agua (Micucci *et al.*, 2002).

El desafío constante es conocer cómo el clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua por los cultivos (Micucci *et al.*, 2002).

Las prácticas agronómicas deben derivar la mayor cantidad de agua hacia la transpiración del cultivo, ya que es la única pérdida productiva. El productor o técnico a través del manejo, puede intervenir en el sistema evitando pérdidas de agua no productivas, como lo es el escurrimiento (Micucci y Álvarez 2002).

En un estudio realizado por la UNRC y el INTA en el sur de la provincia de Córdoba se pudo observar que la mayoría de los productores no utilizan o adoptan ninguna estrategia de aprovechamiento del agua de lluvia dado que mayoritariamente se realizan a favor de la pendiente y frecuentemente los altos niveles de compactación superficial del suelo obstaculizan la infiltración de agua de lluvia, aumentando el escurrimiento superficial (Cisneros *et al.*, 2008).

El agua es un elemento crítico y condicionante de la productividad de los suelos y posiblemente su mal aprovechamiento en el área de estudio, no ha sido muy manifiesto en los últimos años por la ocurrencia de precipitaciones mayores al promedio histórico (Cisneros *et al.*, 2008).

El esfuerzo político debe orientarse a utilizar prácticas de conservación de suelo y agua tales como manejo de la condición superficial del suelo y manejo del relieve, que permitan un mejor aprovechamiento del recurso hídrico (Cisneros *et al.*, 2008).

Otras investigaciones realizadas por el INTA indican que para obtener una cosecha satisfactoria, por ejemplo, 10.000 kg de maíz, se necesitan más de 500 mm de agua disponible para el vegetal en su etapa de crecimiento. En muchas áreas agrícolas del país el déficit de agua no radica solamente en la escasez de las precipitaciones sino, además, en el insuficiente almacenaje de agua en el suelo, debido a alguna forma no adecuada de manejo de la infiltración y el escurrimiento (Casas *et al.*, 2008).

La interacción de relieves fuertemente ondulados, precipitaciones de alta intensidad, textura del suelo y cultivos sembrados a favor de la pendiente favorece la menor disponibilidad de agua para los cultivos, agrava los problemas de erosión, y origina un menor volumen de suelo para ser explorado por el sistema radicular (FAO, 2000).

Aplicando algunas prácticas conocidas del manejo de los cultivos y del suelo y técnicas de conservación del suelo y el agua, se puede aumentar la cantidad de lluvia infiltrada y almacenada en el perfil edáfico y mejorar tanto el uso del agua como la conservación del suelo, además de lograr una mayor producción, tanto en cantidad como en calidad (Casas *et al.*, 2008).

Los cultivos de verano, particularmente el maíz, son muy sensibles durante el periodo próximo a floración (Andrade y Sadras, 2002). Parece ser relativamente tolerante al déficit de agua durante el período vegetativo y el de maduración. La mayor disminución de los rendimientos de grano la ocasiona el déficit de agua durante el período de floración, incluyendo la formación de la inflorescencia, la formación del estigma y la polinización (15 días antes a 15 días después de la emergencia de los estigmas). La pérdida de granos por espiga debido al aborto de estructuras reproductivas en situaciones sin estrés hídrico puede representar en maíz entre un 32% y un 38%, mientras que en situaciones de deficiencia de agua puede representar entre un 38% y un 82% (Uhart y Andrade, 1995).

Por ello, todas las prácticas tendientes a minimizar las pérdidas de agua o el consumo de agua previo a este periodo, impactan positivamente en la EUA. El consumo de agua está relacionado con el índice de área foliar (IAF) (Andrade y Sadras, 2002).

En general, el Maíz tiene buen comportamiento con precipitaciones de hasta 700 mm; En términos generales, requiere a lo largo de su ciclo, entre 600 y 800 mm de precipitación efectiva (Nicosia y Martin 1998).

La principal limitante de la producción de cultivos extensivos en la provincia de Córdoba, es la deficiencia en la disponibilidad de agua, determinada no sólo por la variabilidad de las precipitaciones, sino también por los relativamente bajos niveles de aprovechamiento (lluvia efectiva). Esto es debido a la degradación física del suelo, provocada por el intenso laboreo durante décadas y a la falta de rotaciones (Salinas *et al.*, 2006).

Las diferentes técnicas de control del escurrimiento se basan en el principio de acortar la longitud de la pendiente incrementando la retención y el detenimiento superficial. Este efecto, se debe a la rugosidad perpendicular a la pendiente, generada por el conjunto de labranzas realizadas en esa dirección. Por si solas no modifican la velocidad de infiltración (Cisneros *et al.*, 2009).

La técnica utilizada en el proyecto fue cultivos sembrados en curvas de nivel, cuya fundamentación se explica a continuación:

- Cultivos en curvas de nivel

En las pendientes suaves, o donde el riesgo de erosión no exige obras más importantes, puede ser suficiente para frenar la escorrentía, el poder realizar todas las operaciones de laboreo siguiendo curvas de nivel. Esta práctica consiste en cortar la pendiente en pequeñas porciones, de forma que cada surco o cada planta represente un obstáculo al avance del agua de la escorrentía, (aumenta la retención y el detenimiento superficial). La ejecución de esta práctica se hace posible, a través del trazado de curvas guías a seguir en todas las prácticas de manejo posteriores (laboreos, siembras, formas de pastoreos, entre otras.)

Los objetivos de los cultivos en curvas de nivel son disminuir la erosión hídrica a través de la disminución de la velocidad de escurrimiento del agua de lluvia; facilitar la infiltración del agua y habilitar el terreno para cultivar siguiendo las curvas de nivel (Cisneros *et al.*, 2009).

Las curvas de nivel, o líneas en contorno, son líneas que unen puntos de igual altura en el terreno, que se definen con un nivel topográfico o el dispositivo para el trazado de líneas de contorno (Pilatti, 1985), también conocido como “nivel de campo”, o cualquier otro instrumento similar que cumpla con los mismos requisitos.

Para el manejo del agua, y para evitar la pérdida de suelo, materia orgánica, partículas finas y nutrientes, es fundamental en áreas de pendiente la dirección de las labores, de manera que cada surco se comporte como una barrera vegetal al escurrimiento superficial (Casas *et al.*, 2008).

En las regiones secas, el objetivo principal del cultivo en contorno es asegurar la captación y conservación del agua de lluvia. Mientras que en las zonas húmedas, el propósito fundamental es reducir las pérdidas de suelo por erosión. Sin embargo, en los dos casos el contorno asegura también ambas ventajas. Los surcos formados por las labranzas en contorno detienen y almacenan el agua en el suelo, reduciendo así la erosión y obteniendo una mejor distribución de la humedad en el relieve y en el perfil (Michelena y Mon, 2006).

Sin embargo esto también tiene sus limitaciones ya que su eficacia se reduce considerablemente en terrenos con pendientes superiores al 12 % (Minintegui Aguirre y Lopez Unzu, 1990).

Los antecedentes sobre las curvas de nivel se remontan a varios siglos atrás con el comienzo de la civilización Inca quienes desarrollaron una economía basada en una intensiva

construcción de hileras de terrazas en las montañas, en las que consiguieron una maestría en el arte hidráulico y de irrigación de las aguas. Fue entonces, el antiguo poblador peruano el que les dio forma, convirtiéndolos en ricas tierras productivas por medio de la irrigación y otras tecnologías agrarias nativas que se desarrollaron con maestría a lo largo del tiempo (Navajas, 2002).

Trabajos recientes publicados por el INTA se basó en la obtención de información sobre lotes sistematizados en contorno y terrazas paralelas. Los investigadores pudieron observar que el cultivo en contorno produce mayor eficiencia en la captación del agua pluvial disminuyendo el escurrimiento superficial y la erosión. La humedad edáfica retenida en la media loma en las parcelas en contorno, fue superior a la del testigo en valores que varían del 5 al 7 % en promedio para los 90 cm del perfil y hubo una menor diferencia en el contenido de humedad entre la media loma y el bajo en las parcelas en contorno. Por último, es posible señalar que se obtuvieron un aumento en el rendimiento de maíz sembrado en contorno entre un 10 y un 18 % con respecto al testigo (Michelena y Mon, 2006).

Los **Procesos Hidrológicos** en los que se va a trabajar a través de la implantación de cultivos en contorno son (Cisneros *et al.*, 2009):

-Retención superficial

Hace referencia al agua retenida sobre la superficie del suelo en micro-depresiones. Al final de la tormenta el agua puede infiltrar o evaporarse, existiendo una baja probabilidad de que el agua retenida pase a formar parte del escurrimiento superficial.

Los factores que controlan la cantidad de agua retenida son la *microtopografía* y la *pendiente general*. El principal factor es el microrelieve superficial que se debe fundamentalmente a las prácticas de cultivo y está relacionada con la época del año.

Las prácticas de cultivo incluyen tanto a las técnicas de laboreo como aquellas que modifican el desarrollo de los cultivos. Estas prácticas culturales son estacionales por naturaleza, como lo es la agresividad del clima, por lo tanto la época de realización modifica el agua retenida superficialmente. Un elemento que influye en el microrelieve es la presencia de surcos de erosión debidos a una erosión pasada y si esos surcos han sido o no borrados por las operaciones de labranza.

La pendiente general del lugar, influye a través de su gradiente, ya que a medida que aumenta, para una misma rugosidad, disminuye el volumen de agua retenida en superficie. Este factor es de menor jerarquía respecto al microrelieve, aunque es imprescindible de considerar al

plantear las técnicas que tiendan a incrementar la retención. Es evidente que la eficiencia de la técnica será máxima cuando la generación de microrelieves se haga cortando la pendiente principal del lote o en curvas de nivel, de este modo la rugosidad creada retiene eficazmente el agua, evitando su desplazamiento

-Detención superficial

Hace referencial agua detenida temporariamente sobre la superficie, es decir, que una vez puesta en movimiento es frenada por obstáculos. Los factores que controlan el detenimiento superficial son micro-relieve superficial, vegetación, pendiente general, distribución de las lluvia y topografía general de la cuenca.

El microrelieve superficial controla las formas de la sección de flujo de agua desde los "canales" pequeños hasta las vías principales de flujo de agua. De este modo todos los elementos que influyen sobre la retención (prácticas culturales, época del año y patrón de erosión), también pueden considerarse que afectan el detenimiento superficial.

La vegetación debe incluirse debido a que determina las prácticas culturales empleadas y a que las hojas y tallos aumentan la rugosidad de la superficie.

La pendiente general influye fuertemente en el volumen de agua detenida en superficie; cuanto mayor es, más alta es la velocidad de escurrimiento y menor es el volumen de detención requerido para mantener un dado caudal de flujo.

La topografía general de la cuenca afecta la cantidad de agua que pasa de un área elemental hacia otras adyacentes. De este modo el escurrimiento de un lugar es el producto del aportado por las precipitaciones locales y del que aportan otras áreas.

Los procesos de detenimiento se verifican a nivel de las cabeceras de lote en las cuales el flujo se detiene y deposita los sedimentos, por efecto de la vegetación que se acumula en esos lugares. Por el contrario el escurrimiento se acelera al llegar a los caminos, en los cuales hay muy poca rugosidad, prueba de ello es el estado de deterioro en el que se encuentran actualmente.

-Escurrimiento superficial

Es el resultado del balance de los procesos anteriores, por lo tanto es afectado por los mismos factores antedichos.

Tan pronto comienza la lluvia, la vegetación impide que una parte de ella llegue a la superficie; denominábase a este proceso interceptación. Si la cobertura no es completa, parte de la lluvia alcanza la superficie del suelo, una parte comienza a infiltrar y el resto comienza a llenar las depresiones del microrelieve. Una vez que las demandas de almacenaje en depresiones han sido superadas, satisfecha la interceptación y superada la velocidad de infiltración, el agua comienza a acumularse en una condición de detención superficial y el escurrimiento comienza.

Es importante reconocer estos principios al evaluar el impacto de las diferentes técnicas de manejo sobre el escurrimiento y sobre cuál de los procesos se está actuando.

Otras técnicas del manejo del relieve, según (Cisneros *et al.*, 2009), son:

- Cultivos cortando la pendiente

Esta práctica consiste en trazar una línea perpendicular a la resultante de las pendientes o a la pendiente principal de un lote, a fin de que sirva como línea base para la siembra de cultivos. Estas marcas pueden quedar en forma permanente para ser utilizadas en años venideros.

- Cultivos en fajas

El cultivo en fajas consiste en sembrar fajas alternas de pasturas que crezcan densamente (faja de protección o contención) y cultivos en hileras o de cereales (faja protegida), perpendicularmente a la dirección de la pendiente o siguiendo curvas de nivel (cultivos en fajas a nivel o en contorno). Este tipo de situación es adecuada a sistemas de producción mixtos.

El fundamento del cultivo en fajas para contrarrestar la erosión que ocasiona el agua de escorrentía, se basa en lo siguiente:

a) disminución de la velocidad y desorganización del agua de escurrimiento al fluir por la faja de césped denso, (aumento del detenimiento y la retención superficial);

b) aumento de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, tanto en la faja de pastura densa como en la cultivada;

c) el sedimento procedente de la faja de cultivo, se deposita en la faja empastada al disminuir la velocidad del agua de escurrimiento.

-Terrazas de desagüe, de cauce, canal o avenamiento

Su objetivo es fraccionar la pendiente en superficies protegidas por estructuras, cuya función es disminuir la velocidad del escurrimiento y dirigir el excedente de agua no infiltrada al suelo en forma no erosiva hacia una salida segura. Afectan principalmente los procesos de detención superficial y de retención por efecto de la dirección de líneas de cultivo entre terrazas.

Por lo general, esta terraza se construye empujando tierra declive abajo, para formar un cauce con un camellón bajo. Este cauce desciende hasta otro canal de desagüe para que el agua de escurrimiento procedente del terreno corra sin ocasionar en éste, graves daños. Para que tal efecto se produzca, las terrazas deben ser trazadas con un cierto desnivel, tal que no produzca la erosión del cauce ni la sedimentación del mismo por velocidades del agua altas y bajas respectivamente.

-Terrazas de absorción

Su objetivo principal es el de almacenar agua en el perfil de suelo y como objetivo secundario, el control de la erosión hídrica.

En las regiones de precipitación pluvial moderada o baja, estas terrazas captan y retienen el agua de lluvia por infiltración en el perfil del suelo. La condición de suelo permeable mejora el funcionamiento de esta técnica.

Al igual que las terrazas desagüe, una terraza de absorción está formada por un canal y un camellón o terraplén construidos a nivel. Este último, en este tipo de terrazas se construye generalmente con material que se toma de ambos lados del mismo. Es necesario tener un camellón lo suficientemente alto y estabilizado para prevenir el desbordamiento o el rompimiento que pueda causar el agua que escurre.

La FAO (1994), señala que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es, sin dudas, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y, más importante aún, el deterioro del medio ambiente.

La Erosión consiste en una pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie. Los principales agentes causantes de la erosión hídrica son la energía cinética de las precipitaciones y el agua que circula por la superficie, que con una cierta

velocidad crítica pone en movimiento a partículas aumentando así su carga y por lo tanto su poder erosivo (Cisneros *et al.*, 2009).

A nivel mundial la erosión es el principal problema medio ambiental que ocurre en la agricultura convencional y por consiguiente el más importante que hay que afrontar para que se mantenga la capacidad productiva de los suelos agrarios (Gonzales Sanches, 2004). Este mismo autor sostiene que en los últimos 40 años, cerca de un tercio de los suelos agrícolas de la tierra han dejado de ser productivos para el uso agrícola debido a la erosión.

Se destaca la erosión del suelo como el proceso que afecta al mayor número de hectáreas en el mundo, representando el 83,6% de toda la degradación (1.642 millones de hectáreas). Dentro de este proceso es la erosión hídrica el fenómeno más importante (55,7%) (García y Dorronsoro, 2004).

Según estimaciones 115 millones de hectáreas en Europa están afectadas por la erosión hídrica (FAO, 1993). Por su parte en América latina se estima que hay más de 160 millones de hectáreas afectadas por dicho proceso (IFAD, 2002).

El territorio argentino tiene 25 millones de hectáreas afectadas por la erosión hídrica (FAO, 1993), proceso que ha causado una considerable destrucción de las tierras (KUGLER, 1983).

La producción agropecuaria es la actividad productiva más importante del país, por la contribución que hace a su economía, a través de la exportación de productos agropecuarios. No obstante, el suelo, que es el soporte de esta actividad, no recibe suficientes cuidados sino más bien todo lo contrario. Casi 40 millones de hectáreas están afectadas por erosión hídrica o eólica en grado moderado o grave. Se estima que las pérdidas económicas debidas a la degradación del suelo ascendían 700 millones de dólares por año (FAO, 1993).

La región del sur de Córdoba presenta un régimen climático con tendencia al incremento de las precipitaciones y una intensidad y erosividad de las mismas en primavera-verano que provoca un incremento de los volúmenes de escurrimiento y constituye un alto riesgo de erosión que favorece la degradación de los suelos por erosión hídrica (Cantú y Becker, 1999). La misma cuenta con 689 mil hectáreas afectadas por la erosión hídrica.

Cada año el deterioro del suelo por degradación es mayor no sólo por el aumento del número de hectáreas afectadas sino también porque el ritmo del perjuicio se acelera. Los efectos negativos ya de por sí graves, por la disminución de la capacidad productiva de las tierras, se tornan dramáticos al incidir sobre la infraestructura básica del país. Cada vez hay más poblaciones, caminos, vías férreas, diques, puertos y vías navegables dañados por la degradación del suelo (FAO, 1993).

La prevención de la degradación del suelo, mediante la difusión de técnicas conservacionistas, conducirá a evitar muchos daños y perjuicios por destrucción de la infraestructura, permitirá incrementar la producción agropecuaria y disminuirá la contaminación. En definitiva, mejorará la calidad de vida de la población (FAO, 1993).

El desgaste acelerado de los suelos por el escurrimiento de las aguas pluviales. Origina serias pérdidas de suelo en las tierras onduladas; por tal motivo, para su control, deben considerarse tanto medidas preventivas como de lucha (Michelena y Mon, 2006).

HIPOTESIS

En los suelos francos arenosos de paisajes ondulados ubicados al oeste de la localidad de Alcira Gigena se plantean las siguientes hipótesis:

- El cultivo de maíz en curvas de nivel para gradientes de pendiente de 3 y 6%, incrementa su rendimiento final respecto a un sistema de siembra a favor de la pendiente, debido a que aumenta la captación del agua de lluvia en el suelo.
- El cultivo en contorno para ambos gradientes de pendiente incrementa el agua almacenada en los 80 cm del perfil respecto a la siembra a favor de la pendiente.

OBJETIVOS

Generales:

- Relacionar la práctica de cultivos a nivel con el almacenamiento de agua en el suelo y su vinculación con el rendimiento de un cultivo de maíz.

Específicos

- Determinar el contenido de agua en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz sembrado en curvas de nivel y a favor de la pendiente.
- Estimar el rendimiento a cosecha de un cultivo de maíz sembrado en contorno y a favor de la pendiente.
- Estimar eficiencia en el uso del agua por parte del cultivo en todos los tratamientos.

2-MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del Área de estudio

El lugar donde se realizó el experimento se encuentra ubicado a unos 15 km al Noroeste de la localidad de Alcira Gigena sobre los 32°40'33" sur y los 64°24'19" oeste, y a 595 msnm.

El área presenta un relieve normal fuertemente ondulado con pendientes largas, con gradientes de hasta un 5%, excepto en sectores localizados en donde son cortas con gradientes entre 6 y 12%. El relieve y el paisaje se presentan como un conjunto de lomas, medias lomas y bajos muy concentradores de agua (Cantero *et al.*, 1986). Los suelos son bien drenados, desarrollados a partir de material loésicos franco limosos, y están clasificados como Haplustoles típicos (Agencia Córdoba Ambiente-INTA, 2006).



Figura 1: Ubicación del área experimental donde se llevó a cabo el proyecto de tesis.

Caracterización del clima

La región presenta un régimen de precipitación monzónico, concentrando el 80 % de las lluvias en el periodo de octubre a abril, con una media anual entre 700-800 mm, presentando un déficit en los meses invernales, siendo diciembre el mes más lluvioso, con un valor medio de 130,8 mm y junio el de menores precipitaciones, con 13,4 mm (Seiler *et al.*, 1995). En la figura 2 se presenta la distribución histórica (período 1977-2006) de precipitaciones medias mensuales (Comunicación personal)¹ y las precipitaciones mensuales ocurridas durante la campaña 2009-2010.

Las condiciones térmicas caracterizan una zona de clima templado (Fabricius y Rotondo, 1993), que presenta una temperatura media anual es de 16.5 °C mientras que la del mes más cálido (enero) es de 23.5 °C y la del mes más frío de 8.8 °C con una amplitud media anual de 14.7 °C.

La mayor velocidad media del viento se registra a fines de agosto y durante el mes de septiembre y octubre, con vientos predominantes en dirección NE-SO (Fabricius y Rotondo, 1993).

El período libre de heladas en promedio es de 255,7 días, siendo la fecha media de primeras heladas el 25 de mayo \pm 14,3 días, y la fecha extrema de primeras heladas el 29 de abril. Asimismo los registros indican como fecha media de últimas heladas el 12 de septiembre, con una desviación típica de \pm 20,3 días, y fecha extrema de últimas heladas, el 04 de noviembre (Seiler *et al.*, 1995).

¹ Comunicación personal: Ing. Victor Rotondo, Agrometeorología, FAV – UNRC.

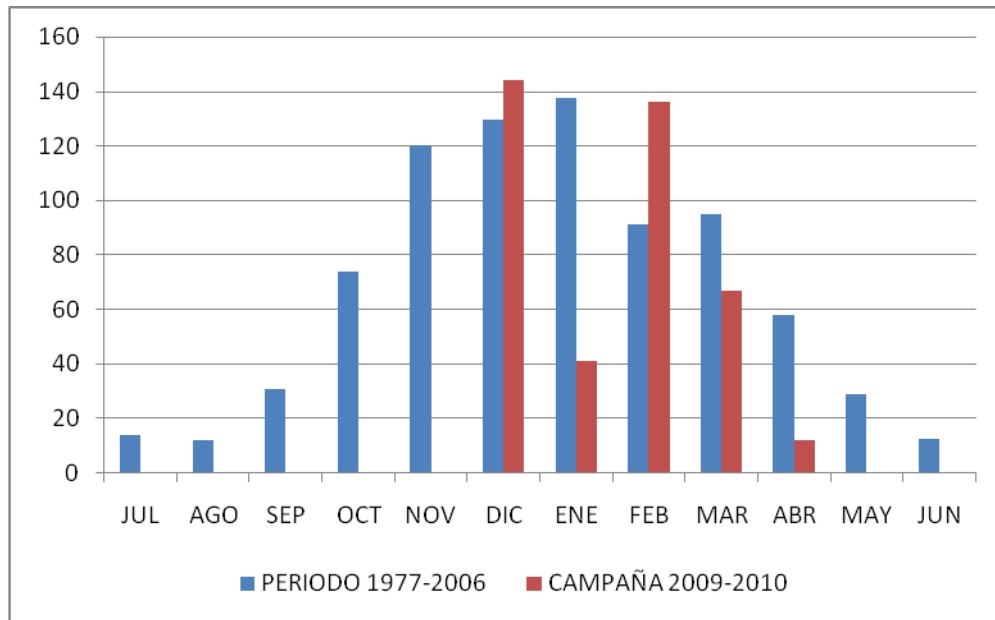


Figura 2: Precipitación media normal (serie 1977-2006) y precipitación durante la Campaña 2009-2010 (mm).

Caracterización del relieve y suelo del ensayo

El área de ensayo presenta un relieve normal fuertemente ondulado con pendientes largas, con dos gradientes 3 % en la mitad del lote y 6 % en la otra mitad.

Para la descripción morfológica del suelo se realizaron calicatas en cada una de las situaciones de pendiente estudiadas. El suelo correspondiente al sector con gradiente del 3% es un Haplustol entico con secuencia de horizontes Ap, A, Ac, Cca y en el sector con gradiente de 6% el suelo fue clasificado tentativamente como Ustorthent Tipico con una secuencia de horizontes Ap, AC, Cca de escaso desarrollo. Ambos, presentan una textura franca arenosa, con presencia de carbonato de calcio a partir de los 45 cm y 20 cm de profundidad en el perfil ubicado en el gradiente de 3 y 6%, respectivamente. Ambas unidades de tierras presentan severos procesos de erosión hídrica laminar y en surcos.

Los datos morfológicos correspondientes a la descripción de los perfiles edáficos de cada gradiente de pendiente se muestran en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1: Datos de calicata para el gradiente de pendiente 3%.

| Horizontes | Profundidad | Limites | Estructura Tipo, Clase, Grado |
|------------|-------------|-------------------|----------------------------------------|
| Ap | 0-10 cm | Claro, suave | Bloques subangulares medios moderados. |
| A | 10-20 cm | Gradual, Suave | Bloques subangulares medios moderados. |
| Ac | 20-45 cm | Abrupto | Bloques subangulares, finos, débiles. |
| Cca | 45 cm a más | Claro, suave | Estructura masiva de grano simple |

Cuadro 2: Datos de calicata para el gradiente de pendiente 6%.

| Horizontes | Profundidad | Limites | Estructura Tipo, Clase, Grado |
|------------|-------------|-------------------|------------------------------------------|
| Ap | 0-8 cm | Claro, suave | Bloques subangulares medios moderados. |
| AC | 8-20 cm | Gradual, Suave | Bloques subangulares moderados a débiles |
| Cca | 20 cm a más | Claro, suave | Estructura masiva de grano simple |

La información correspondiente a la valoración de indicadores físicos del suelo se detalla en los cuadros 3, 4, 5 y 6 para cada tratamiento y su testigo, respectivamente.

Cuadro 3: Peso Especifico Aparente, Contenido de agua a capacidad de campo y Punto de marchites permanente en el suelo con 3 % Testigo

| Horizontes | Peso Especifico Aparente (PEA) g.cm ³ | Humedad a Cap. de Campo (%) | Humedad a Punto de Marchites (%) |
|------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Ap | 1.467 | 19.75 | 8.015 |
| A | 1.483 | 22.19 | 9.215 |
| Ac | 1.354 | 20,35 | 9.125 |
| Cca | 1.359 | 18,72 | 8.55 |

Cuadro 4: Peso Especifico Aparente, Contenido de agua a capacidad de campo y Punto de marchites permanente en el suelo con 3 % en curvas de nivel

| Horizontes | Peso Especifico Aparente (PEA) g.cm ³ | Humedad a Cap. de Campo (%) | Humedad a Punto de Marchites (%) |
|------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Ap | 1.531 | 24.515 | 8.68 |
| A | 1.598 | 25.215 | 10,76 |
| Ac | 1.483 | 22.225 | 10,075 |
| Cca | 1.457 | 23.55 | 11.11 |

Cuadro 5: Peso Especifico Aparente, Contenido de agua a capacidad de campo y Punto de marchites permanente en el suelo con 6 % en curvas de nivel

| Horizontes | Peso Especifico Aparente (PEA) g.cm ⁻³ | Humedad a Cap. de Campo (%) | Humedad a Punto de Marchites (%) |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Ap | 1.301 | 14.97 | 7.385 |
| AC | 1.472 | 20.035 | 11.025 |
| Cca | 1.348 | 17.94 | 9.86 |

Cuadro 6: Peso Especifico Aparente, Contenido de agua a capacidad de campo y Punto de marchites permanente en el suelo con 6 % Testigo

| Horizontes | Peso Especifico Aparente (PEA) g.cm ⁻³ | Humedad a Cap. de Campo (%) | Humedad a Punto de Marchites (%) |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Ap | 1.411 | 15.32 | 6.545 |
| AC | 1.448 | 17.924 | 9.34 |
| Cca | 1.526 | 19.1 | 9.775 |

Del análisis de esta información surge que la capacidad de almacenaje de ambas relaciones suelo-gradiente de la pendiente es diferente, mientras que el suelo del gradiente del 3 % es capaz de almacenar entre 1.5-2 mm/cm de agua útil, el suelo del gradiente 6 % almacena alrededor de 1 mm/cm de agua útil. Por otro lado, en cada gradiente de la pendiente al estimar el contenido de agua volumétrico a capacidad de campo y a punto de marchites permanente se nota el efecto de las diferencias en el peso específico aparente de los horizontes entre el tratamiento con curvas de nivel y el testigo.

La siembra del cultivo se realizó el 5 de diciembre de 2009, con una densidad de 95.000 plantas ha⁻¹, y un distanciamiento entre hileras de 0,52 m, utilizando un híbrido simple de TIJERETA (LT 624 RR2). En la misma se fertilizó con 50 kg de una mezcla química que posee 20 % de Nitrógeno, 20 % Fosforo, 3 % Potasio y 4 % de Azufre.

Tratamientos, diseño experimental y análisis estadístico de los resultados

Se seleccionó un área de 12 ha dentro del establecimiento, que presentaba máximas condiciones de degradación a consecuencia del relieve y de las prácticas agrícolas previas.

Como primera actividad se realizó un relevamiento planialtimétrico a campo, con un equipo de GPS diferencial centimétrico, marca Sokkia-Reliance con base locus. Esto posibilita la obtención del plano de curvas de nivel permitiendo interpretar las formas del relieve del área relevada. Esta información fundamental, permitió el estudio para la formulación del diagnóstico de la situación del campo.

La altimetría se realizó con el método cinemática. La mensura se hace con toma de datos estática, midiendo los puntos de quiebre del área en estudio. Los datos así obtenidos se transfieren a la computadora vía puerto serial, donde son procesados con un programa específico que relaciona los datos de la base y del rotador (los dos aparatos que componen el G.P.S. para método diferencial de precisión).

En gabinete se procesaron los puntos relevados, mediante el software RELIANCE (V 4.0 año 99 Magellan corporation), para luego exportar los valores X, Y, Z al software ARCVIEW (3.2 ESRI) para realizar la interpolación de dichos valores y obtener así el plano de curvas de nivel (Figura 3). A partir de este producto, se procedió a la definición, elección, suavizado y marcado a campo de las curvas guías o madres para luego paralelizar a ellas las líneas de labores y siembra (figura 4).

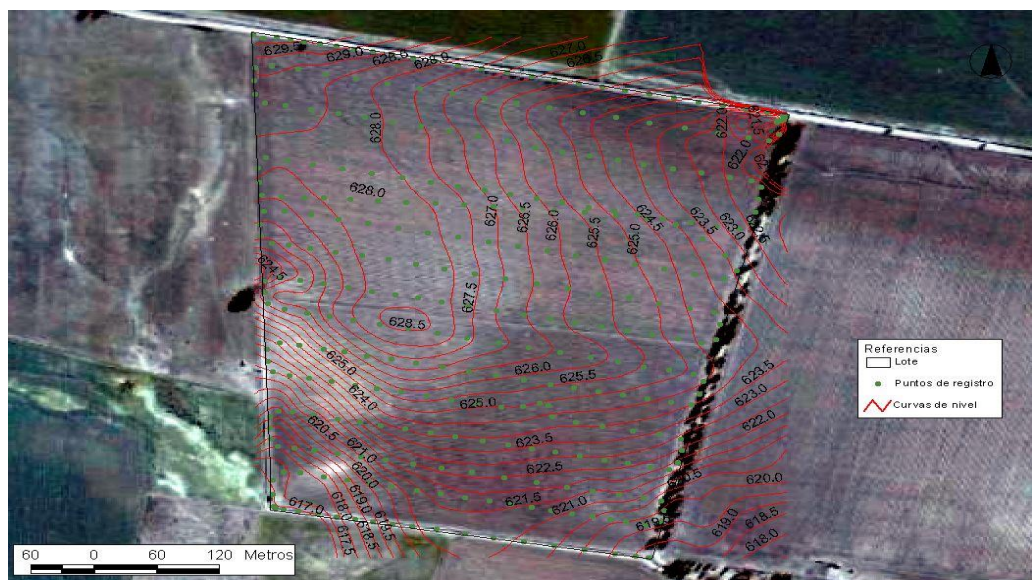


Figura 3: Plano de las curvas de nivel con los diferentes puntos relevados en el campo.



Figura 4: Curvas guías o madres paralelizadas. Líneas de siembra del lote

El diseño experimental empleado fue de parcelas totalmente al azar con cuatro tratamientos y dos repeticiones por tratamiento, correspondiendo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde

Y_{ij} : representa observaciones debida a la i -ésima repetición ($i= 1,2,3,4,5,6$) del j -ésimo tratamiento ($j= 1,2,3,4$)

μ : efecto común para todo el experimento, media general

τ_j : efecto del tratamiento j -ésimo

ε_{ij} : error aleatorio presente en la i -ésima repetición del j -ésimo tratamiento.

Las parcelas experimentales tuvieron una dimensión de 12.6 m de ancho por 290 m de largo aplicándose los siguientes tratamientos:

- **Tratamiento 1:** cultivo a favor de la pendiente con gradiente de 3% (Testigo 3 %).
- **Tratamiento 2:** cultivo en curvas de nivel con gradiente de 3%.
- **Tratamiento 3:** cultivo en curvas de nivel con gradiente de 6 %.
- **Tratamiento 4:** cultivo a favor de la pendiente con gradiente de 6 % (Testigo 6 %).

La disposición en el espacio de las parcelas experimentales se presenta en la figura 5.

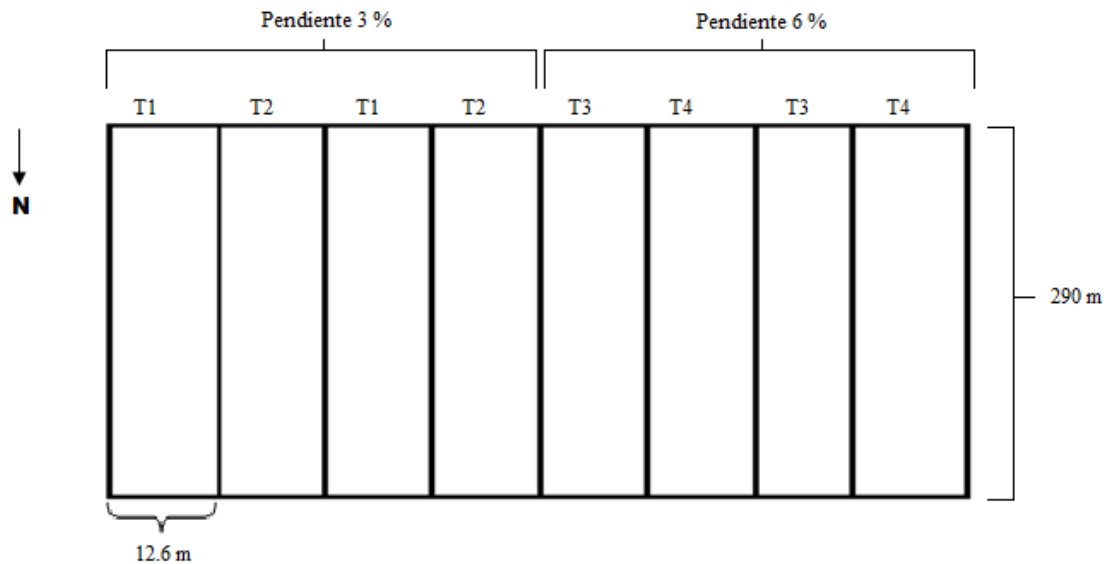


Figura 5: Croquis del área experimental de campo.

Análisis estadístico de los resultados.

Empleando el programa estadístico *Infostat* (Robledo *et al.*; 2008) se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias, efectuándose previamente un estudio de normalidad de los datos, para cada relación suelo-gradiente de pendiente.

Evaluaciones:

- Durante el ciclo del cultivo se determinó el **contenido de agua en el suelo** mediante la extracción de muestras con barreno y posterior secado a estufa a 105°C hasta peso constante, según el método gravimétrico. En cada tratamiento se extrajeron muestras de suelo hasta los 80 cm de profundidad, a los siguientes intervalos: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm y 60-80 cm, con el objeto de abarcar el espesor de los horizontes de ambos suelos y de facilitar el muestreo. Las muestras fueron tomadas luego de cada lluvia igual o superior a 10 mm, con 2 mediciones en cada intervalo de profundidad, por tratamiento y repetición.

A continuación se presentan las fechas cuando se realizó el muestreo, conjuntamente con el estado fenológico del cultivo y la precipitación del día anterior a la misma.

| Fecha Muestreo | Estado Fenológico del Cultivo | Precipitación del día Anterior |
|-----------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| 5 de Diciembre | Siembra del cultivo | 15 mm |
| 17 de Diciembre | Maíz con una Hoja desarrollada (V1) | 29 mm |
| 25 de Diciembre | Maíz con tres Hojas desarrolladas (V3) | 10 mm |
| 30 de Diciembre | Maíz con tres Hojas desarrolladas (V3) | 27 mm |
| 1 de Enero | Maíz con cuatro Hojas desarrolladas (V4) | 40 mm |
| 5 de febrero | Maíz con 12 hojas desarrolladas (V12) | 13 mm |
| 14 de Febrero | Maíz en floración (VT) | 50 mm |
| 21 de febrero | Maíz en emergencia de estigmas (R1) | 45 mm |
| 13 de Marzo | Maíz en grano Lechoso (R3) | 56 mm |
| 22 de Marzo | Maíz en grano Pastoso (R4) | 11 mm |
| 27 de Abril | Fin de ciclo. Madurez fisiológica | - |

Con el muestreo del 27 de abril se obtuvo la humedad del suelo al finalizar el ciclo, sin haberse producido una precipitación previa.

Para el cálculo del contenido de agua se utilizaron las siguientes expresiones matemáticas:

- *Contenido de agua Específica o gravimétrica (We):*

We o gravimétrico (H%), se expresa en **gr agua/100 gr suelo**

$$\%H = \frac{(PH + T) - (PS + T)}{(PS + T) - T} * 100$$

PH= Peso humedo
 PS= Peso seco
 T= Tara

- *Contenido de agua Volumétrico (Wv):*

Wv (H%v) resulta de multiplicar We por la densidad aparente y se expresa en **gr de agua/100 cm³ suelo.**

$$Wv = We \cdot DA$$

Donde:

DA= Densidad Aparente (t m⁻³)

Para realizar esta estimación se le asignó a cada intervalo de profundidad en el que se muestreó para humedad, el valor de PEA correspondiente al espesor de cada horizonte o al promedio de dos o más horizontes según fuera el caso.

- *Lámina de agua almacenada (L):*

$$L \text{ (mm)} = H\% \cdot \text{Prof. (cm)} \cdot 0.1$$

Donde:

Prof.= espesor de la capa de suelo donde se realizó el muestreo

- *Lámina de agua total almacenada en el perfil de suelo (Lt):*

$$L_t = \sum L \text{ (mm)}$$

Para realizar la estimación de esta variable se procedió de similar manera que para la estimación anterior en cuanto a la relación entre los intervalos de profundidad de muestreo y el espesor de los horizontes genéticos, hasta los 80 cm de profundidad.

▪ Se determinó la **densidad aparente** por el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Se realizó una medición según los horizontes descriptos en cada perfil edáfico. A partir de esta información se estimó el contenido de agua volumétrico en los diferentes momentos de evaluación y se determinó la lámina de agua almacenada.

▪ Para la estimación del **Balance de Agua del Ciclo del Cultivo** se evaluaron los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo (Richard et al., 2006).

La estimación se realizó según un método simplificado al propuesto por Ritchie (1998), en el que se tuvieron en cuenta los siguientes componentes:

$$ALM_{\text{final}} = ALM_{\text{inicial}} + PP - ESC - PER - ETR \quad (1)$$

Donde:

ALM = almacenamiento de agua en el suelo.

PP = precipitación.

ESC = escurrimiento superficial.

ETR = evapotranspiración real del cultivo.

PER = percolación o infiltración profunda.

La *precipitación (PP)* proporciona agua a la zona radicular. Parte de la (*PP*) pueden perderse por escurrimiento superficial (ESC). El *escurrimiento* es calculado a partir del método de la curva número del Servicio de Conservación del Suelo del USDA (USDA, 1968). En el procedimiento se considera la precipitación total de una o más tormentas ocurridas a lo largo de un día, sin tener en cuenta la variable tiempo, ya que se ignora la intensidad de la precipitación. Para la estimación de este componente del balance se estimó el umbral de escorrentía o abstracción inicial (P_0) en el cual es un dato que aparece tabulado en función del uso de la superficie (bosque, Cultivo, etc.), de la pendiente y del tipo de suelo (A, B, C, D) (Figura 15 del anexo). Finalmente hay que modificarlo si los días han sido muy secos o muy húmedos (Figura 16 del anexo). Con este dato se calculó el escurrimiento mediante la siguiente expresión:

$$P_n = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 P_0}$$

P = Precipitación total registrada.

P_n = Precipitación Neta o en exceso (escurrimiento).

P_0 = Abstracción inicial o umbral de escorrentía.

Para la estimación del P_0 se consideró un grupo hidrológico de suelo B, el uso fue el de cultivo en hileras, las características hidrológicas: con y sin curvas de nivel y pendientes: mayor o menor al 3%. Para el caso del tratamiento 3% se asumió un P_0 de 17 sin curvas de nivel y de 19 con curvas de nivel. En todos los casos se realizó la corrección según la precipitación antecedente al evento estudiado.

El escurrimiento total durante el ciclo se estimó mediante la sumatoria de los escurrimientos parciales producidos luego de cada evento.

Otras de las pérdidas es la *percolación profunda (PER)*. Esta se mueve hacia abajo desde el estrato superior del suelo hacia los estratos más profundos aproximándose a una forma de cascada. El drenaje desde un horizonte tiene lugar sólo cuando el contenido hídrico de ese horizonte se encuentra entre saturación y CC, por tal motivo se asumió este tipo de pérdida insignificante.

La diferencia entre lámina inicial y la lámina final de agua almacenada en el perfil marca la variación del contenido hídrico del suelo entre estos dos momentos del ciclo del

cultivo. Para la estimación de ambas láminas se utilizó la información resultante de los muestreos de suelo realizados el 5/12/2009 y 27/4/2010, para la lámina inicial y final, respectivamente.

La evaporación del suelo y la transpiración del cultivo forman parte de la *evapotranspiración del cultivo (ETR)*, que se estimó para cada tratamiento en el ciclo del cultivo con los diferentes componentes del balance hídrico (las entradas y las salidas mencionados precedentemente, según la siguiente expresión, despejada de (1):

$$ETR \text{ (mm)} = ALM_{\text{inicial}} + PP - ESC - PER - ALM_{\text{final}}$$

- La cuantificación del rendimiento de grano se realizó en madurez fisiológica. Para ello se cosechó manualmente una superficie de 1 m² con 5 mediciones al azar por tratamiento y repetición totalizando 5 m² en cada uno de ellos. El peso de los granos fue ajustado a humedad de comercialización (14%).

- La eficiencia de uso del agua (EUA) representa el rendimiento de grano por unidad de agua usada por el cultivo. Se utilizó, para su obtención, lo sugerido por Tanner y Sinclair (1983) (Citado en: Hatfield *et al.*, 2001), quienes resumieron las distintas formas que pueden ser usadas para caracterizarla, de la siguiente manera:

$$EUA = \frac{Y}{ETR}$$

Donde:

EUA: Eficiencia de uso del agua (gr.m⁻².mm⁻¹)

Y: Rendimiento de grano del cultivo (gr.m⁻²)

ETR: Evapotranspiración del cultivo (mm)

- Se determinó la **curva característica de humedad** para cada horizonte mediante el método de la olla a presión (Jackson, 1964), obteniéndose los valores de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP), con cuya diferencia se estimó el contenido de agua útil para cada horizonte del perfil. Esta estimación permitió referenciar la lámina de agua disponible en cada fecha de muestreo respecto a la lámina de agua potencialmente disponible para las plantas, pudiendo observar con esto la influencia de su

variación durante el ciclo del cultivo sobre el rendimiento del mismo. El procedimiento para la estimación de la lámina de agua útil en cada horizonte y la lámina de agua útil total almacenada hasta los 80 cm de profundidad, fue similar al descrito para la estimación de la lámina de agua disponible en cada momento de muestreo

3-RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1-LÁMINA TOTAL DE AGUA ALMACENADA PROMEDIO DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO

El análisis de varianza arrojó diferencias estadísticamente significativas a un nivel del 5% entre los tratamientos de manejo del relieve (Cuadro 1 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el suelo promedio del ciclo del cultivo entre los tratamientos estudiados, indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al testigo, (cuadro 7, figura 1 del Anexo). No hubo efecto significativo del manejo del relieve en curvas de nivel sobre la lámina de agua total promedio del ciclo del cultivo, cuando el gradiente fue del 6 %.

Cuadro 7: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio del ciclo del cultivo, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|-------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| | 3% | CN | 193,22 | A |
| | 6% | CN | 169,36 | B |
| | 6% | T | 167,42 | B |
| | 3% | T | 129,45 | C |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

En la pendiente del 3%, el efecto del manejo en curvas de nivel almacenó en el perfil una lámina total de agua que superó en un 33 % a la del manejo a favor de la pendiente (figura 6).

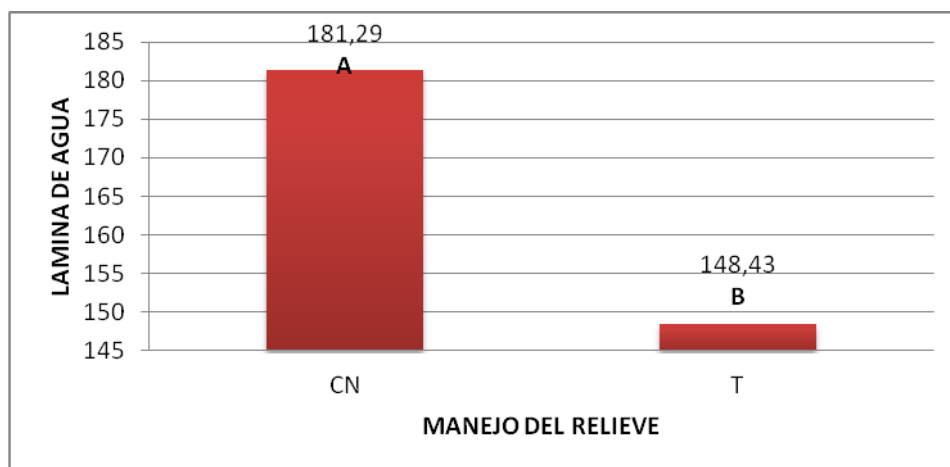


Figura 6: Lámina total de agua almacenada en el perfil, promedio del ciclo del cultivo de maíz en función del manejo del relieve para la pendiente del 3%.

Estas diferencias a favor del manejo en curvas de nivel pueden atribuirse al incremento de la retención y detención superficial que ejercieron las líneas del cultivo sobre el agua en escurrimiento (Cisneros *et al.*, 2009). Esto coincide a su vez con el trabajo realizado por (Michelena y Mon, 2006) quienes observaron que el cultivo en contorno produce mayor eficiencia en la captación del agua pluvial disminuyendo el escurrimiento superficial y la erosión. Si bien este efecto es muy variable teniendo en cuenta los numerosos factores que intervienen en la captación y dinámica del agua en el suelo, la humedad edáfica retenida en las parcelas en contorno, fue superior a la del testigo en valores que variaron entre 5,3 y 6,8% en promedio para los primeros 80 cm del perfil.

La magnitud elevada del gradiente de pendiente de 6%, pudo influir en el escaso impacto que tuvo la técnica realizada, indicando a su vez la necesidad de implementar otras técnicas de conservación que resulten más apropiadas para dicha condición, concordando con lo que plantean (Schwab *et al.*, 1990).

3.2- LÁMINA TOTAL DE AGUA ALMACENADA EN CADA FECHA DE MUESTREO

3.2.1- Variación del *contenido total de agua edáfica durante el ciclo del cultivo para cada tratamiento en relación a sus respectivas láminas a capacidad de campo y punto de marchitez permanente.*

El manejo del relieve ocasionó marcadas diferencias en el almacenamiento de agua en el suelo durante el ciclo del cultivo a favor del manejo en curvas de nivel respecto al manejo a favor de la pendiente, a excepción de los momentos inicio y final ciclo (figura 7).

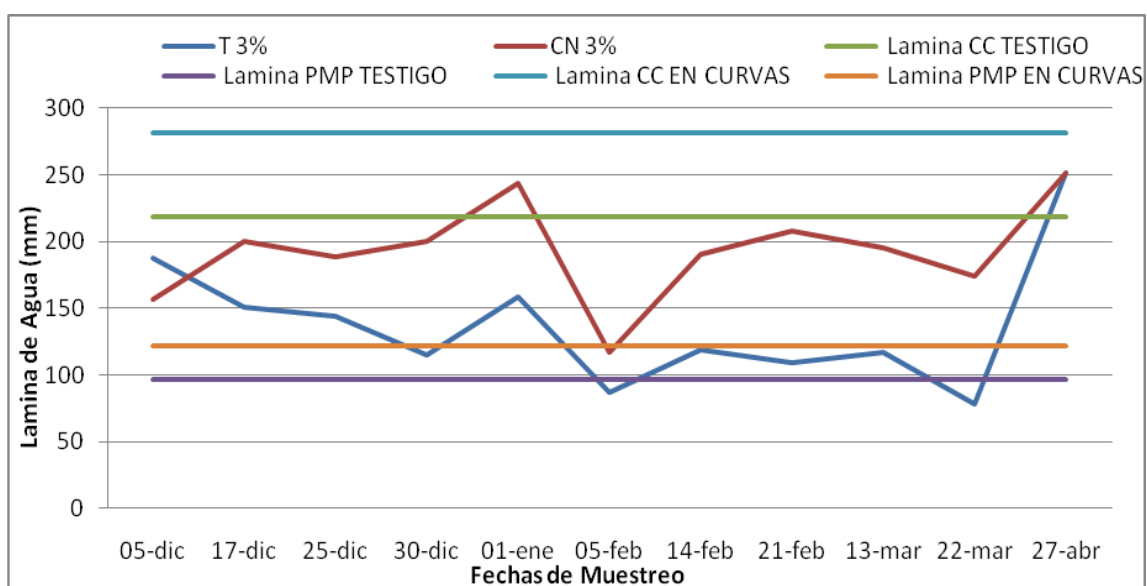


Figura 7 : Lámina total de agua almacenada en cada fecha de muestreo para los tratamientos de 3 % curvas de nivel y 3 % a favor de la pendiente, en relación a sus respectivas laminas a capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Como se aprecia en la figura 7 el tratamiento 3 % en curvas de nivel presentó en sus primeros estadios la lámina de agua almacenada por encima de la lámina en Punto de marchitez permanente, en lo que se denomina agua disponible para el cultivo, aumentando progresivamente en el tiempo hasta llegar a un 76 % de agua útil, (86 % CC) el 1 de enero en el estadio fenológico de V4 (Cuatro hojas desarrolladas). A partir de esta fecha comenzó a decaer hasta el estadio fenológico de V12 (5 de febrero) donde presentó su lámina igual a la de punto de marchitez permanente, esto se debió a que en el período comprendido entre el 5 de enero y el 3

de febrero las precipitaciones no superaron los 12 milímetros produciéndose un déficit hídrico (Figura 14 del anexo). Posteriormente se produjo una recarga del perfil, llegando a floración el día 14 de febrero con su lámina dentro del rango de agua disponible para el cultivo, sin presentar ningún déficit hasta el final del ciclo.

En el caso del tratamiento testigo 3 % se observa que si bien la lámina de agua almacenada estuvo dentro del rango de agua disponible para el cultivo en los primeros estadios, mostró una variación decreciente, llegando a la fecha del 30 de diciembre muy próximo a punto de marchitez permanente. Este comportamiento no se debió a una falta de agua para el cultivo, ya que en primer lugar las precipitaciones, hasta el momento, habían alcanzado los 102 milímetros desde la siembra (Figura 14 del Anexo) y en segundo lugar el cultivo se encontraba en un estadio fenológico de tres hojas desarrolladas (V3) con un escaso requerimiento hídrico por día. Posterior a este período en la evaluación del 1 de enero la lámina de agua almacenada en el suelo tuvo un comportamiento ascendente, debido a que el 31 de diciembre se produjo una precipitación que recargó el perfil. En la evaluación del 5 febrero la lámina de agua almacenada en el suelo se mantuvo por debajo de la lámina de punto de marchitez permanente. Luego tuvo un aumento permaneciendo dentro del rango de agua disponible para el cultivo pero muy próximo al punto de marchitez permanente hasta la fecha del 22 de marzo (R4) que se encontró por debajo de la misma. Luego, la lámina de agua útil presentó un aumento progresivo hasta la finalización del ciclo del cultivo.

Un estrés hídrico en floración como en este caso, reduce la eficiencia de conversión en biomasa de la radiación interceptada, y posiblemente la intercepción de radiación (por aceleración de la senescencia de hojas) y la partición de materia seca a espigas. Como consecuencia, aumenta el aborto de estructuras reproductivas y disminuye la producción final de granos (Andrade *et al.*; 1996).

En el caso de los tratamientos de 6 % en curvas de nivel y 6 % a favor de la pendiente se observó que presentaron una variación de la lámina total de agua almacenada durante el ciclo con un comportamiento similar (figura 8). Se puede observar que en los primeros estadios del ciclo del cultivo hasta el 1 de enero (estadio V4 del cultivo) la lámina disponible se encontró dentro de los rangos de agua útil y en la evaluación del 5 de febrero (estadio V12 del cultivo) la lámina total de agua almacenada estuvo por debajo del rango de lámina de punto de marchitez permanente. Posteriormente, y hasta finalizar el ciclo del cultivo, la lámina de agua se encontró dentro del rango de agua útil que puede almacenar el perfil. Se puede ver que en el estado fenológico de Floración en la fecha de 14 de febrero la lámina de agua almacenada se encontró

por encima del PMP pero por debajo del 50 % de agua disponible. El consumo de agua, y en consecuencia el crecimiento del maíz, se ven reducidos cuando el contenido hídrico del suelo en la zona explorada por las raíces se encuentra por debajo del 40-60% de la fracción de agua disponible para el cultivo (Andrade *et al.*; 1996). Esta disponibilidad va a variar dependiendo de la etapa del cultivo en referencia a la profundidad de las raíces y por la demanda que el mismo tenga.

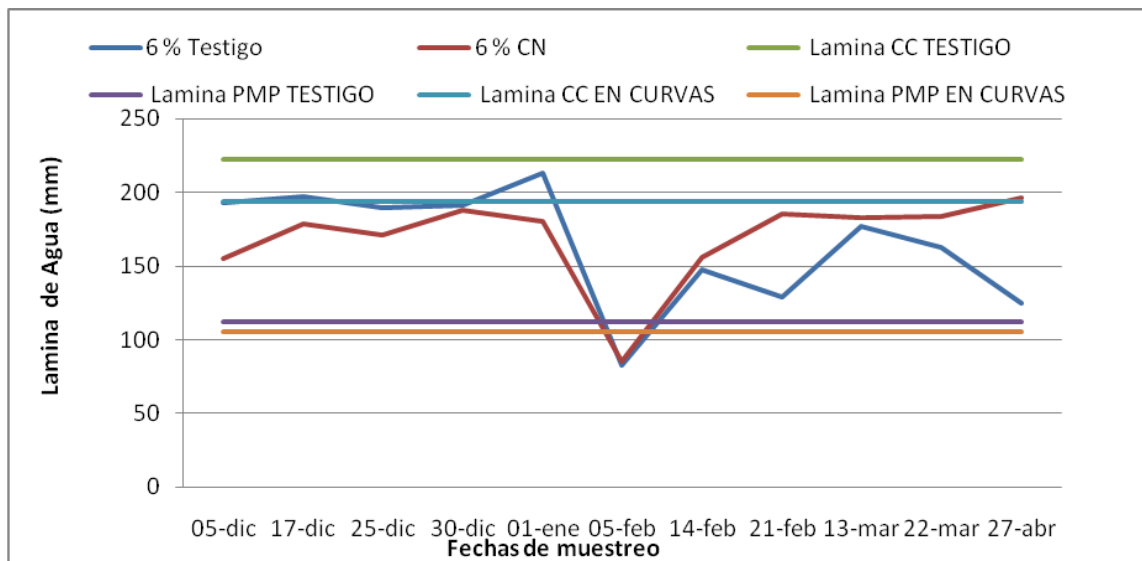


Figura 8 : Lámina total de agua almacenada en cada fecha de muestreo para los tratamientos de 6 % curvas de nivel y 6 % a favor de la pendiente con sus respectiva laminas de Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Si el estrés hídrico ocurre durante la etapa vegetativa, se reduce la expansión foliar y la tasa fotosintéticamente, lo que provoca una disminución del crecimiento (Andrade *et al.*; 1996). Esto ocurrió en la finalización de la etapa vegetativa para los tratamientos de 3 % a favor de la pendiente, 6 % a favor de la pendiente y 6 % en curvas de nivel.

La floración es la etapa más sensible a sequías. La ocurrencia de deficiencias hídricas severas en esta etapa produce importantes reducciones en el rendimiento (Andrade *et al.*; 1996), condición que pudo observarse en el inicio de floración en los tres tratamientos nombrados anteriormente.

Si la deficiencia hídrica ocurre durante la fase de llenado de granos, disminuye la cantidad de asimilatos disponibles por grano y, por lo tanto el peso de los mismos (Andrade *et al.*; 1996). Esto sucedió en el tratamiento de 3% testigo.

En las fotos 1 a 4 se aprecian imágenes sobre el estado del cultivo en el estadio V8 en los diferentes tratamientos.



Foto 1: 25 de enero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 3% a favor de la pendiente.



Foto 2: 25 de enero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 3% en curvas de nivel.



Foto 3: 25 de enero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 6% en curvas de nivel.



Foto 4: 25 de enero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V8 para el tratamiento 6% a favor de la pendiente.

3.2.2- Contenido de agua almacenada en el perfil edáfico en cada momento del ciclo del cultivo

3.2.2.1-Contenido de humedad a la siembra -5 de Diciembre-

El análisis de varianza para la variable estudiada arrojó un efecto estadísticamente significativo a un nivel del 5% de los diferentes tratamientos de manejo del relieve (Cuadro 2 del Anexo).

A la siembra la lámina de agua disponible en el perfil edáfico fue mayor en los tratamientos a favor de la pendiente con respecto a los tratamientos de cultivos en curvas de nivel para ambos gradientes de pendiente (Cuadro 8). Las diferencias fueron estadísticamente significativas (Figura 2 del anexo).

Cuadro 8: Lámina total de agua almacenada en el suelo, al momento de siembra del cultivo, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 05-dic | 6% | T | 193,29 | A |
| 05-dic | 3% | T | 187,17 | A |
| 05-dic | 3% | CN | 156,59 | B |
| 05-dic | 6% | CN | 155,34 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

Este comportamiento es atribuido a variaciones en el almacenaje de agua en el suelo previas a la implementación de los tratamientos.

3.2.2.2- *Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de V1 (una Hoja desarrollada) -17 de Diciembre-*

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve (Cuadro 3 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el suelo para los diferentes tratamientos arrojó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de manejo del relieve con el gradiente de 3 %, habiendo un efecto superior a favor del manejo del relieve en curvas de nivel respecto al testigo, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil superó en un 24.4 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 9). No hubo efecto significativo entre manejos del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la variable estudiada (Figura 3 del Anexo).

Cuadro 9: Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de V1 (una hoja desarrollada), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 17-dic | 3% | CN | 199,72 | A |
| 17-dic | 6% | T | 197,18 | A |
| 17-dic | 6% | CN | 178,88 | AB |
| 17-dic | 3% | T | 150,9 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

En el período siembra-V1 se produjo un total de 62 mm de lluvia (ver cuadro 14 del anexo), lo que ocasionó una recarga diferente del perfil producto del manejo del relieve en la pendiente del 3%, evidenciando el efecto de retención y detención superficial generado por las líneas de siembra del cultivo desde los primeros estadios del mismo.

3.2.2.3- *Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de V3 (Tres Hojas desarrollada) -25 de Diciembre-*

El análisis de varianza resultó estadísticamente no significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve (Cuadro 4 del Anexo). Si hubo interacción entre los efectos de los factores Manejo del relieve y pendiente ($p= 0,0027$), es decir que actúan en forma *conjunta* sobre la variable en estudio.

La comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de 3 hojas desarrolladas en el cultivo de maíz, para los diferentes tratamientos estudiados, indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al testigo (fotos 5 y 6), en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil para el manejo en curvas de nivel superó en un 24.1 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 10). No hubo efecto significativo del manejo del relieve en curvas de nivel sobre la lámina de agua total, cuando el gradiente fue del 6 %. (Figura 4 del Anexo).

Cuadro 10: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de V3 (tres hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 25-dic | 6% | T | 189,33 | A |
| 25-dic | 3% | CN | 188,43 | A |
| 25-dic | 6% | CN | 170,62 | AB |
| 25-dic | 3% | T | 143,84 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.



Foto 5: viernes 25 de diciembre de 2009. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V3 (Tres hojas desarrolladas para los tratamientos de 3 % a favor de la pendiente (al fondo de la imagen) y 3 % en curvas de nivel (al frente de la imagen)).



Foto 6: viernes 25 de diciembre de 2009. Cultivo de maíz en el estado fenológico de V3 (Tres hojas desarrolladas para los tratamientos de 3 % en curvas de nivel.

3.2.2.4- Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de V3 (Tres Hojas desarrollada) -30 de Diciembre-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 5 del Anexo) y hubo interacción entre los efectos de los factores Manejo del relieve y pendiente ($p= 0,0001$).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el perfil del suelo para el estado fenológico del cultivo de maíz en V3, arrojó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al testigo, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil superó en un 42.5 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 11). No hubo efecto significativo entre manejo del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la lámina (Figura 5 del Anexo).

Cuadro 11: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estadio enológico de V3 (tres hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 30-dic | 3% | CN | 199,92 | A |
| 30-dic | 6% | T | 190,82 | A |
| 30-dic | 6% | CN | 187,87 | A |
| 30-dic | 3% | T | 114,82 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

3.2.2.5- Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de V4 (4 Hojas desarrolladas) -1 de enero-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina (Cuadro 6 del Anexo).

El análisis de comparación de medias indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de manejo del relieve con el gradiente de 3 % respecto al testigo, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil superó en un 35 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 12). No hubo efecto significativo entre manejo del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la lamina de agua almacenada (Figura 6 del Anexo).

Cuadro 12: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de V4 (cuatro hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 01-ene | 3% | CN | 243,56 | A |
| 01-ene | 6% | T | 213,12 | AB |
| 01-ene | 6% | CN | 180,2 | BC |
| 01-ene | 3% | T | 158,29 | C |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

El comportamiento de la lámina total de agua almacenada en el perfil durante el período siembra-V4 para el gradiente del 6% con los dos manejos del relieve evaluados, obedece a las variaciones en el peso específico aparente de los diferentes horizontes de ambos perfiles (cuadros 5 y 6, capítulo 2).

3.2.2.6- Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de V12 (12 Hojas desarrolladas) -5 de Febrero-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 7 del Anexo).

La comparación de medias indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamiento de manejo del relieve con el gradiente de 3 %, presentando un efecto superior del manejo del relieve en curvas de nivel respecto al testigo, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil superó en un 25.7 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 13). No hubo efecto significativo entre manejo del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la lámina (Figura 7 del Anexo).

Cuadro 13: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 05-feb | 3% | CN | 117,29 | A |
| 05-feb | 3% | T | 87,12 | B |
| 05-feb | 6% | CN | 85,48 | B |
| 05-feb | 6% | T | 82,62 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

En las fotos 7 a 10, se aprecian imágenes del estado del cultivo en el estadio V12 en los diferentes tratamientos.



Foto 7: Viernes 5 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) para el tratamiento 3% a favor de la pendiente.



Foto8: Viernes 5 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) para el tratamiento 3% en curvas de nivel.



Foto 9: Viernes 5 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) para el tratamiento 6% en curvas de nivel.



Foto 10: Viernes 5 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de V12 (doce hojas desarrolladas) para el tratamiento 6% a favor de la pendiente.

3.2.2.7- *Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de VT (Maíz en Floración) -14 de Febrero-*

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 8 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el perfil del suelo, arrojó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamiento de manejo del relieve con el gradiente de 3 %, en el cual el manejo en curvas de nivel presentó un 37.8 % superior de lámina total almacenada en comparación con el tratamiento a favor de la pendiente (Cuadro14). No hubo efecto significativo entre manejo del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la lámina de agua almacenada (Figura 8 del Anexo).

Cuadro 14: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio, en el estado fenológico de VT (Floración), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 14-feb | 3% | CN | 190,91 | A |
| 14-feb | 6% | CN | 156,16 | B |
| 14-feb | 6% | T | 147,34 | B |
| 14-feb | 3% | T | 118,56 | C |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

En las fotos 11 a la 14 se pueden observar imágenes del estado del cultivo en el estadio de floración, en los diferentes tratamientos evaluados.



Foto 11: Domingo 14 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración) para el tratamiento 6% a favor de la pendiente.



Foto 12: Domingo 14 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración) para el tratamiento 6% en curvas de nivel.



Foto 13: Domingo 14 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración) para el tratamiento 3% en curvas de nivel.



Foto 14: Domingo 14 de febrero de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de VT (Floración) para el tratamiento 3% a favor de la pendiente.

3.2.2.8- Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de R1 (Emergencia de estigmas) -21 de Febrero-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 9 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el perfil del suelo para el estado fenológico del cultivo de maíz en R1 entre los diferentes tratamientos, indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al testigo, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil fue superior en un 47.3 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 15). También hubo diferencias significativas de la lámina total de agua almacenada a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel sobre el testigo en el gradiente de 6 %, siendo las diferencias de un 30.4 %. (Cuadro 15, Figura 9 del Anexo).

Cuadro 15: Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de R1 (emergencia de estigmas), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 21-feb | 3% | CN | 207,8 | A |
| 21-feb | 6% | CN | 185,29 | A |
| 21-feb | 6% | T | 128,95 | B |
| 21-feb | 3% | T | 109,31 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

3.2.2.9- Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de R3 (Maíz en Grano Lechoso) -13 de Marzo-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 10 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el suelo durante el estadio fenológico de R3 (Maíz en grano lechoso), entre los tratamientos estudiados, indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al testigo, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil superó en un 40.18 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 16). No hubo efecto significativo entre manejo del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la lámina total de agua almacenada (Figura 10 del Anexo).

Cuadro 16: Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de R3 (maíz en grano lechoso), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 13-mar | 3% | CN | 195,43 | A |
| 13-mar | 6% | CN | 182,64 | A |
| 13-mar | 6% | T | 177,21 | A |
| 13-mar | 3% | T | 116,9 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

Las fotos 15 a 18 muestran imágenes del estado del cultivo en el estadio R3 en los diferentes tratamientos estudiados.



Foto 15: Sábado 13 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) para el tratamiento 6% a favor de la pendiente.



Foto 16: Sábado 13 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) para el tratamiento 6% en curvas de nivel.



Foto 17: Sábado 13 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) para el tratamiento 3% en curvas de nivel.



Foto 18: Sábado 13 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R3 (Grano lechoso) para el tratamiento 3% a favor de la pendiente.

3.2.2.10- Contenido de humedad del cultivo de maíz en estadio fenológico de R4 (Maíz en Grano Pastoso) -22 de Marzo-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 11 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el suelo durante el estadio fenológico de R4 (Maíz en grano pastoso), entre los tratamientos estudiados, indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al tratamiento a favor de

la pendiente, en donde la lámina total de agua almacenada en el perfil superó en un 57.2 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 17). No hubo efecto significativo del manejo del relieve en curvas de nivel sobre la lámina total de agua almacenada en el ciclo del cultivo, cuando el gradiente fue del 6 % (Figura 11 del Anexo).

Cuadro 17: Lámina total de agua almacenada en el suelo, en el estado fenológico de R4 (maíz en grano pastoso), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 22-mar | 6% | CN | 183,76 | A |
| 22-mar | 3% | CN | 173,94 | A |
| 22-mar | 6% | T | 162,66 | A |
| 22-mar | 3% | T | 78,57 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

En las fotos 19 a 22 se muestran imágenes del estado del cultivo en el estadio R4 en los diferentes tratamientos estudiados.

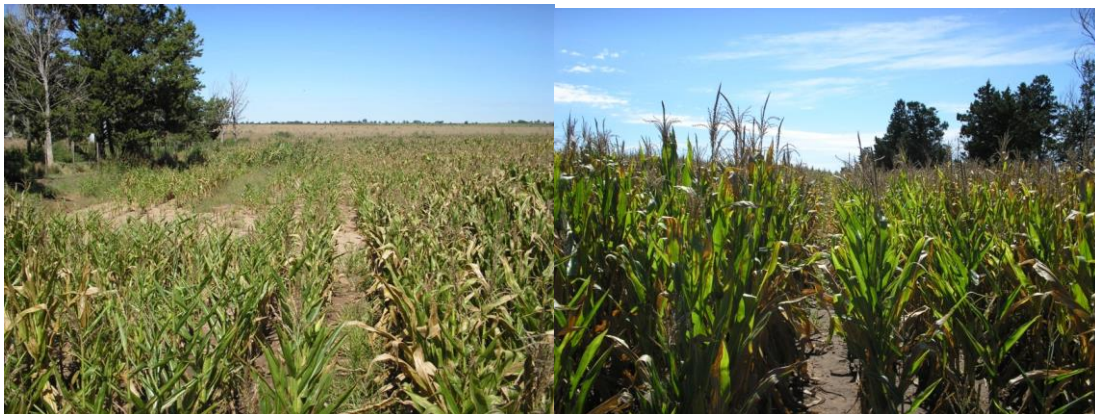


Foto 19: Lunes 22 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso) para el tratamiento 3% a favor de la pendiente.



Foto 20: Lunes 22 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso) para el tratamiento 3% en curvas de nivel.



Foto 21: Lunes 22 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso) para el tratamiento 6% en curvas de nivel.



Foto 22: Lunes 22 de marzo de 2010 Cultivo de maíz en el estado fenológico de R4 (Grano Pastoso) para el tratamiento 6% a favor de la pendiente.

3.2.2.11- Contenido de humedad del cultivo de maíz en madurez fisiológica -27 de Abril-

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve respecto a la lámina de agua almacenada (Cuadro 12 del Anexo).

El análisis de comparación de medias de la lámina total de agua almacenada en el perfil del suelo al final del ciclo del cultivo para los diferentes tratamientos, indicó que hubo diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel con el gradiente de 3 % respecto al testigo, observándose un 50.3 % más de lámina total de agua almacenada para el tratamiento en curvas de nivel con respecto al tratamiento a favor de la pendiente (Cuadro 18). No hubo efecto significativo entre manejo del relieve con un gradiente de 6 % respecto a la lámina de agua almacenada (Figura 12 del Anexo).

Cuadro 18: Lámina total de agua almacenada en el suelo al final del ciclo del cultivo, en madurez fisiológica, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Fecha | Pendiente | Manejo del relieve | Lamina almacenada | Significancia |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|---------------|
| 27-abr | 3% | CN | 251,8 | A |
| 27-abr | 6% | CN | 196,69 | AB |
| 27-abr | 3% | T | 158,49 | B |
| 27-abr | 6% | T | 124,92 | B |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

3.3- RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ EN MADUREZ DE COSECHA

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de manejo del relieve con el gradiente de 3 % y no significativo entre manejos del relieve con un gradiente de 6%, respecto al rendimiento en grano con una confiabilidad del 72% (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 9.29 % (Cuadro 13 del Anexo). Si hubo interacción entre los efectos de los factores pendiente y manejo del relieve ($p=0,0023$).

El análisis de comparación de medias del Rendimiento en grano promedio del cultivo entre los tratamientos estudiados, arrojó diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento de manejo del relieve en curvas de nivel en el gradiente de 3 % respecto al testigo, en donde el rendimiento en Kg/ha superó en un 30.17 % al manejo a favor de la pendiente (Cuadro 19). No hubo efecto significativo del manejo del relieve en curvas de nivel sobre el rendimiento en grano promedio del cultivo, cuando el gradiente fue del 6 % (Figura 13 del Anexo).

Cuadro 19: Rendimiento del cultivo de Maíz (Kg /ha) en madurez fisiológica, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| <i>Pendiente</i> | Manejo del relieve | Rendimiento (kg.ha ⁻¹) | Significancia |
|------------------|--------------------|------------------------------------|---------------|
| 3% | CN | 6958,8 | A |
| 6% | CN | 5962.7 | B |
| 6% | T | 5245.2 | BC |
| 3% | T | 4859,3 | C |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Los resultados obtenidos nos muestran una diferencia en cuanto al rendimiento del cultivo en contorno y cultivos a favor de la pendiente de entre 12 % y 30 % para el gradiente de pendiente 6% y 3 %, respectivamente. Este comportamiento fue similar al observado en la lámina total de agua que se presentó en el apartado anterior y serían coincidentes en parte con los obtenidos por Michelena y Mon (2006) quienes en ensayos realizados a campo, obtuvieron un aumento del rendimiento de maíz sembrado en contorno entre 9,6 y 17,7% respecto del testigo. Estos resultados podrían explicarse por el mayor contenido de agua almacenada que

presentaron los tratamientos en curvas de nivel respecto a los testigos, atribuyendo esto tanto a una mayor capacidad de almacenaje de agua del perfil manejado en curvas de nivel como a una mejor distribución del agua en el terreno debido al incremento de los procesos de retención y detención superficial producto de la sistematización.

3.4- BALANCE DE AGUA

Como se aprecia en la figura 9 se puede ver que el balance hídrico cuenta con diferentes componentes para analizar. En primer lugar el *Almacenamiento* de agua al *inicio* del ciclo del cultivo fue mayor en el tratamiento de 6 % a favor de la pendiente y 3 % a favor de la pendiente con respecto a ambos tratamientos en curvas de nivel, tal cual se expresó en el apartado 3.2 del presente capítulo.

Otra de las variables es el *Escurrimiento Superficial*, respecto al cual la estimación indicó que el tratamiento de 6 % testigo presentó el mayor escurrimiento total durante el ciclo cultivo (88.82 mm) y luego le siguió con valores relativamente altos el tratamiento de 6 % en Curvas de nivel (64.20 mm), indicando el efecto marcado que ejerció el gradiente de la pendiente sobre este componente del balance. En el gradiente de 3 % el tratamiento en curva de nivel presentó el menor valor de escurrimiento superficial, con un 18,21% menor que en el tratamiento de igual gradiente pero con un manejo a favor de la pendiente (figura 9).

Al analizar la variable de *Evapotranspiración real del Cultivo* los tratamientos a favor de la pendiente ya sea para el gradiente de 3% ó 6% presentaron valores similares relativamente altos en comparación con el tratamiento de 6% y 3% en curvas de nivel, y especialmente con este último en donde la evapotranspiración fue un 31 % menor que el 3% testigo (figura 9). Este comportamiento puede atribuirse a que en las situaciones testigo, la componente evaporativa de la variable en estudio fue mayor, tal cual lo sostiene Satorre *et al* (2003) en cuanto a que en un cultivo las pérdidas de agua no sólo ocurren por transpiración, sino también por evaporación directa del suelo. Para mejorar los rendimientos, el primer aspecto es maximizar la cantidad de agua disponible para transpiración.

La última variable por analizar es el *almacenamiento final de agua* en el ciclo del cultivo, presentando el menor valor el tratamiento de 6 % a favor de la pendiente, seguido del tratamiento 3 % a favor de la pendiente. Ambos tratamiento de manejo del relieve en curvas de

nivel presentaron los mayores valores de lámina acumulada al final del ciclo del cultivo, pero con la diferencia de que el tratamiento de 3% en curvas de nivel presentó el valor más alto de lámina acumulada al final del ciclo (251.8 mm) (figura 9). En este componente del balance pudieron haber influido las precipitaciones al final del ciclo del cultivo que realizaron una recarga diferencial del perfil manejado en curvas de nivel y a menores pérdidas de agua por escurrimiento, así como también por evaporación debido a la mayor cobertura que habría generado el cultivo de mayor rendimiento.

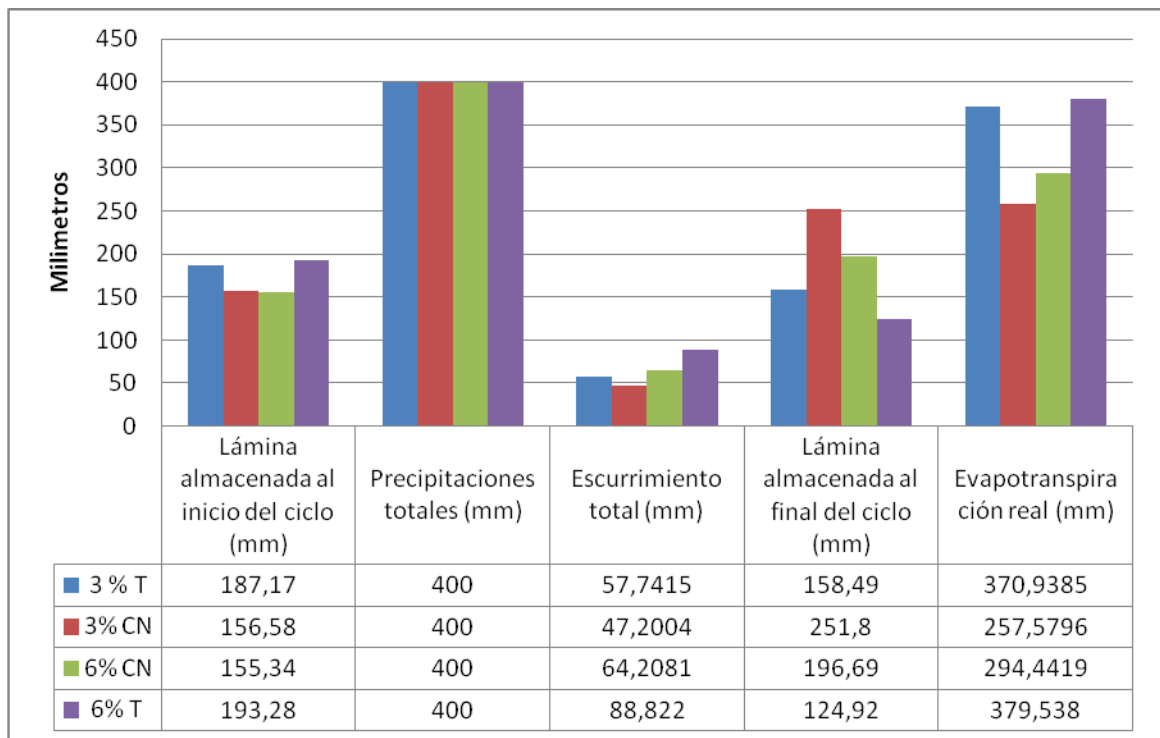


Figura 9: Componentes del balance de agua durante el ciclo del cultivo

3.5- EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA

La eficiencia de uso del agua (EUA) representa el rendimiento de grano por unidad de agua usada por el cultivo.

En relación a ello, la mayor eficiencia de utilización del agua la obtuvieron los tratamientos que tuvieron un manejo en curvas de nivel, siendo el gradiente de 3% en curvas de nivel el de mayor eficiencia ($2,701 \text{ gr.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$), respecto a los demás tratamientos, pudiendo deberse a que en éste se obtuvo un mayor rendimiento de grano (6958.8 Kg/ha) y una menor ETR durante todo el ciclo en comparación con los demás tratamientos (cuadro 20).

Este resultado coincide con lo expuesto por otros estudios realizados donde se indican aumentos de la EUA cuando disminuye la evapotranspiración del cultivo (ETR) (Kang *et al.*, 2000; Karam *et al.*, 2003). Hay diferentes prácticas agronómicas que permiten reducir la proporción de agua evaporada desde el suelo, aumentando de esta manera el agua disponible para la transpiración (Satorre *et al.*, 2003).

Para el tratamiento de 3 % a favor de la pendiente se puede ver que la eficiencia de utilización del agua fue casi la mitad a la del tratamiento en curvas de nivel ($1.310 \text{ gr.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$) (cuadro 20). El tratamiento 6 % en curvas de nivel obtuvo una EUA de $2.025 \text{ (gr.m}^{-2}.\text{mm}^{-1})$, resultando un 31.75% mayor respecto al mismo gradiente pero a favor de la pendiente. En los tratamientos de manejo en curva de nivel la retención y detención del agua producida por la rugosidad generada por las líneas de siembra, incrementaron el almacenamiento de agua en el perfil y el agua disponible para el cultivo, lo que se tradujo en un mayor rendimiento en ambos gradientes de pendiente y por lo tanto en una mayor EUA.

Cuadro 20: Eficiencia del uso del agua.

| Tratamientos | Rendimiento (kg.ha ⁻¹) | Rendimiento (gr.m ⁻²) | ETR (mm) | EUA (gr.m ⁻² .mm ⁻¹) |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|---------------------------------------------|
| 3% Testigo | 4859.3 | 485.93 | 370.93 | 1.310 |
| 3% Curvas de Nivel | 6958.8 | 695.88 | 257.57 | 2.701 |
| 6% Curvas de Nivel | 5962.7 | 596.27 | 294.44 | 2.025 |
| 6% Testigo | 5245.2 | 524.52 | 379.538 | 1.382 |

Nota: $1 \text{ gr.m}^{-2}.\text{mm}^{-1} = 1 \text{ kg.m}^{-3}$

En relación a los resultados obtenidos, el maíz en especial presenta una gran sensibilidad a la falta de agua y, por ende, las prácticas de manejo de suelo pueden tener un efecto significativo en la EUA (Micucci y Álvarez 2002).

Cuando el índice de área foliar es muy bajo su valor depende de la evaporación del suelo. A medida que el cultivo crece predomina el componente transpiratorio, ya que es mayor el agua evaporada del follaje con respecto a la del suelo (Andrade *et al.*; 1996). Esto mismo se pudo observar en el cultivo de maíz entre los diferentes tratamientos de curvas de nivel con respecto a aquellos a favor de la pendiente, ya que como pudo apreciarse en las fotografías del estado del cultivo en las diferentes etapas fenológicas (apartado 3.2 del presente capítulo), hubo una diferencia apreciable en el desarrollo de la canopia entre ambos manejos del relieve.

La eficiencia del uso del agua (EUA) para el maíz puede oscilar entre 19 y 25 kg de grano/ha por mm de agua consumido (Caviglia y Papparotti, 1999). Dentro de este rango estarían incluidos los resultados observados en los tratamientos de 3% y 6% en curvas de nivel.

4-CONCLUSIONES

- ✓ El manejo del relieve en curvas de nivel incrementa la lámina de agua almacenada en el perfil de suelo respecto al manejo a favor de la pendiente del 3%.
- ✓ En el gradiente de pendiente de 6 % el manejo en curvas de nivel no produce diferencias estadísticamente significativas en la lámina total de agua almacenada respecto al manejo a favor de la pendiente, aunque la tendencia indica un incremento a favor del manejo en curvas de nivel.
- ✓ El manejo en curvas de nivel incrementa el rendimiento del cultivo de maíz, siendo sólo estadísticamente significativo en el gradiente de pendiente del 3%.
- ✓ La eficiencia del uso del agua es superior en el manejo en curvas de nivel que a favor de la pendiente en ambos gradientes estudiados.
- ✓ En el gradiente de 6% el manejo en curvas de nivel debe complementarse con otras prácticas de manejo del suelo o del relieve que mejoren la captación de agua dentro del perfil edáfico.

5-RECOMENDACIONES

En este capítulo se expresan ideas que podrían plasmarse en nuevos trabajos de investigación, que permitan profundizar los resultados surgidos de la presente experiencia:

-Evaluar el impacto que pueden tener diferentes técnicas de manejo del relieve en diferentes gradientes de pendiente, sobre el contenido hídrico del suelo y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos.

-Comparar el efecto que ejercen las técnicas de manejo del relieve sobre el contenido hídrico edáfico de diferentes unidades de tierra (loma, media loma y bajo) presentes en los ambientes sujetos a procesos de escurrimiento superficial.

-Realizar una evaluación del impacto que tienen de manera conjunta técnicas de manejo del relieve y manejo del suelo sobre el contenido hídrico y dinámica de los nutrientes del perfil edáfico de esta área de estudio y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos y sobre el proceso de erosión hídrica debida al escurrimiento.

-Medir el escurrimiento superficial y el suelo erosionado y en este sedimento determinar la riqueza de nutrientes y de materia orgánica.

6-BILBIOGRAFIA

- Agencia Córdoba Ambiente - INTA 2006. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba. Los suelos. Argentina- 612 p.

-ANDRADE, F.; CIRILO, A.; UHART, S. Y M. OTEGUI 1996 Ecofisiología del cultivo de maíz. Ed. La Barrosa. Balcarce. Buenos Aires. 292 pp.

- ANDRADE, F.H. Y V.O. SADRAS 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Producciones gráficas Sirio. EEA INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 443 pp. Capítulo 3. Pág. 61-91.

-CANTERO, A.; BRICCHI, E.; BECERRA, V.; CISNEROS, J. y H. GIL. (1986) Zonificación y descripción de las tierras del departamento Río Cuarto (Córdoba, Argentina). UNRC.

-CANTERO, A.; CANTU, M.; CISNEROS, J.; CANTERO, J.; BLARASIN, M.; BECERRA, V.; GONZALES, J.; DEGIOANNI, A.; GIL, H.; DE PRADA, J.; DEGIOVANNI, S.; CHOLAKY, C.; VILLEGAS, M.; CABRERA, A Y C. ERIC. (1998) Las tierras y aguas del sur de Córdoba; Propuestas para un manejo sustentable. (Río Cuarto, Córdoba, Argentina). UNRC.

-CAVIGLIA y PAPAROTTI -AAPRESID; 1999. Maíz en SD. Jornadas de intercambio técnico de maíz. Agua, pág. 19-33.

- CANTÚ MP, BECKER A. 1999. El impacto del uso intensivo de la tierra en áreas templadas del centro de la República Argentina. CD Conferencia Internacional Científica Medio Ambiente Siglo XXI. 7 páginas. Santa Clara, Cuba.

- CASAS, R.; GIL R.; IRURTIA, C.; MICHELENA R.; MON, R.; NOAILLES BOSCH, E.; DA VEIGA, A y R. DI GIACOMO. (2008) El suelo y su conservación INTA Castelar. (Provincia de Buenos Aires, Argentina).

-CISNEROS, J.; CANTERO, A.; REYNERO, M.; CHOLAKY, C y J. GONZÁLEZ. (2009) Manejo de áreas sujetas a erosión hídrica. Apoyo didáctico curso Ingeniería de la Conservación. FAV-UNRC. Provincia de Córdoba, Argentina.

-CISNEROS, J., CANTERO, A., DEGIOANNI, A., BECERRA, V. y A. ZUBRZYCKI. (2008). Producción, uso y manejo de las tierras. En: DE PRADA, J y J. PENNA. (Eds.) Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. Buenos aires: Ediciones INTA, 94 p.

- ESRI, (1992): PC ARC-INFO ver. 3.2 D plus Environmental Systems Research Institute, California.

-FABRICIUS, R y V. ROTONDO. 1993. Características climáticas del área fruti-hortícola de Río Cuarto, en Diagnóstico y evolución del área frutihortícola de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Págs. 23-26.

-FAO, 1993 La erosión del suelo en la República Argentina. En: www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0b.htm. Consultado: 08-03-2009.

-FAO, 1994 Erosión de suelos en América Latina. Suelos y Aguas. p. 33-52.

- FAO, 2000 Manual de prácticas integrales de manejo y conservación de suelos. Roma: FAO, 2000. 220p. (Boletín Tierras y Aguas 8).

-GARCÍA, I. y C. DORRONSORO (2004). Contaminación del suelo. Tema 10 Degradación del suelo Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada. España

-GONZALES SANCHES, E. (2004) Erosión: La importancia de conservación del suelo. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos (AEAC/SV).

-HATFIELD, J. L., T. J. SAUER, y J. H. PRUEGER 2001 Managing soils to achieve greater water use efficiency. A review. *Agronomy Journal* 93: 271-280.

-IFAD, 2002. Hacer frente a la degradación de la tierra y a la desertificación. www.ifad.org/events/wssd/gef/GEF_spa.pdf. Producido por Grupo de Publicaciones del FIDA-FMAN Impreso por GMS. Roma, Italia.

-KANG, S., SHI, W. AND J. ZHANG 2000 An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research* 67: 207-214.

-KARAM, F., BREIDY, J., STEPHAN, C. Y J. ROUPHAEL 2003 Evapotraspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekae Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management*. 63: 125-137

- KUGLER, W.F. 1983. Conservación del suelo y del agua e inundaciones en la cuenca del Plata. Buenos Aires, INTA. IDIA Suplemento N° 40. 111 p.

-MICHELENA, R y R, MON. (2006) El cultivo en contorno, una práctica para la conservación del suelo y del agua. Instituto de suelo INTA Castelar. Buenos Aires.

-MICUCCI F.G.; TABOADA M.A. y GIL R. 2002. El Agua en la Producción de Cultivos extensivos: I. El suelo como un gran reservorio. *Archivo Agronómico* N° 6, *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 15. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

-MICUCCI F. y C ÁLVAREZ. (2002) El agua en los sistemas extensivos III. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. (**INPOFOS Archivo Agronómico** N° 8 - p 3).

-MININTEGUI AGUIRRE, J y F. LOPEZ UNZU. (1990). La ordenación Agro hidrológica en la planificación. Vitoria-Gasteiz. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco.

- NAVAJAS, A. (2002) Introducción a las culturas americanas prehispánicas. (Madrid, España).

- NICOSIA, M.G. y G.O. MARTÍN (h) 1998 Cultivos: Producción de Maíz. Algunos aspectos relevantes (Parte III). Cátedra de Forrajes y Cereales. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. En: www.tucuman.corn. Consultado 13/10/09.

- PILATTI, O. 1985. Dispositivo sencillo para el trazado de curvas de nivel. INTA EEA Reconquista. Publ. Misc. N° 4. 14p.

- ROBLEDO, C. W.; J. A. DI RENZO; M. BALZARINI; L. GONZALEZ; F. CASANOVES y M. TABLADA. 2008. Infostat, Software estadístico manual del usuario versión 1. Ed. Triunfar S.A. Córdoba, Argentina.

-SALINAS, A., E. LOVERA, E. MARTELLOTO, J. GIUBERGIA, S. LINGUA, C. ALVAREZ y H. SALAS 2006 Riego suplementario en la provincia de Córdoba. Situación actual. Área de Recursos Naturales y Agronomía E.E.A. Manfredi.

- SATORRE, E. H., R. L. BENECH ARNOLD, G. A. SLAFER, E. B. DE LA FUENTE, D. J. MIRALLES, M. E. OTEGUI Y R. SAVIN 2003 Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

- SCHWAB, G.; FREVERT, R.; EDMINSTER, T. y K. BARNES. (1990). Ingeniería de conservación de Suelos y Aguas. Editorial LIMUSA, S.A México, D.F.

-SEILER R.A., FABRICIUS R.A., ROTONDO V.H. Y M.G. VINOCUR 1995 Agroclimatología de Río Cuarto – 1974/1993. Vol I. FAV. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. 68 pp.

- UHART, S. A. y ANDRADE, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize (*Zea mays* L.). II. Carbon-nitrogen interaction on kernel number and grain yield. Crop Science. 35:1384-1389.

-U.S.D.A., S.C.S., 1968. A Method for Estimating Volumen and Rate of Runoff in Small Watershed. Scs-Tp-149.

ANEXO

Cuadro 1: Análisis de Varianza de la lámina total de agua almacenada promedio del ciclo del cultivo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| LAMINA DE AGUA | 176 | 0.27 | 0.25 | 23.31 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------------------------|-----------|----------|----------|---|--------------------------|
| Modelo | | 91726.66 | | 3 | 30575.55 20.70 <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 47489.27 | | 1 47489.27 32.15 <0.0001 |
| PENDIENTE | | 2188.04 | | 1 | 2188.04 1.48 0.2252 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN. | | | 42049.35 | | 1 42049.35 28.47 <0.0001 |
| Error | 254042.37 | | 172 | | 1476.99 |
| Total | 345769.03 | | 175 | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=21.44860

Error: 1476.9905 gl: 172

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|----|--------|
| CN | 3.00 | 193.22 | 44 | 5.79 A |
| CN | 6.00 | 169.36 | 44 | 5.79 B |
| T | 6.00 | 167.42 | 44 | 5.79 B |
| T | 3.00 | 129.45 | 44 | 5.79 C |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| LAMINA DE AGUA | 176 | 0.14 | 0.13 | 25.11 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|-----------|----------|----------|---|--------------------------|
| Modelo | | 47489.27 | | 1 | 47489.27 27.70 <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 47489.27 | | 1 47489.27 27.70 <0.0001 |
| Error | 298279.76 | | 174 | | 1714.25 |
| Total | 345769.03 | | 175 | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=12.40230

Error: 1714.2515 gl: 174

| MANEJO DEL RELIEVE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|--------|----|--------|
| CN | 181.29 | 88 | 4.41 A |
| T | 148.43 | 88 | 4.41 B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

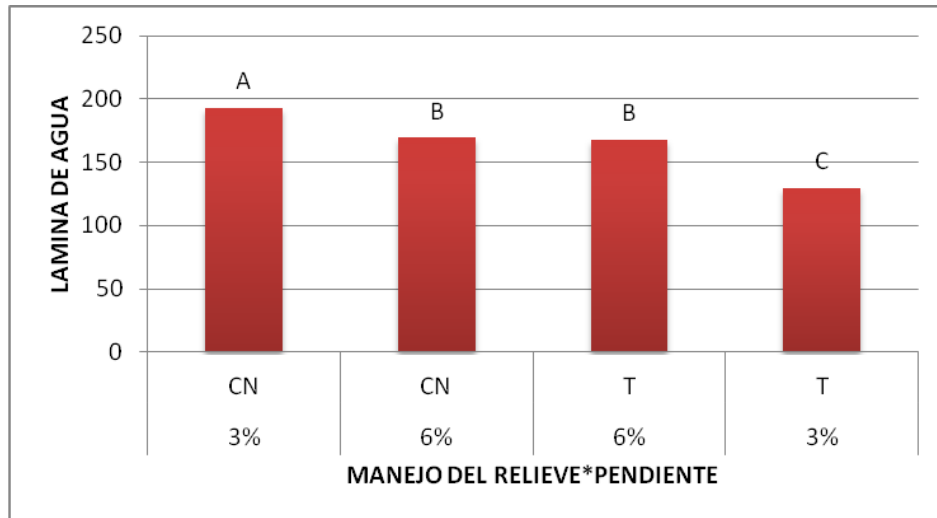


Figura 1: Lámina total de agua almacenada en el suelo promedio del ciclo del cultivo, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 2: Análisis de varianza del contenido de humedad a la siembra.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.96 | 0.95 | 2.36 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------------------------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 4773.92 | 3 | 1591.31 | 95.64 | <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE | 4696.02 | 1 | 4696.02 | 282.22 | <0.0001 |
| PENDIENTE | 23.69 | 1 | 23.69 | 1.42 | 0.2558 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN. | 54.21 | 1 | 54.21 | 3.26 | 0.0962 |
| Error | 199.67 | 12 | 16.64 | | |
| Total | 4973.59 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=8.56413

Error: 16.6393 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|---|--------|
| T | 6.00 | 193.29 | 4 | 2.04 A |
| T | 3.00 | 187.17 | 4 | 2.04 A |
| CN | 3.00 | 156.59 | 4 | 2.04 B |
| CN | 6.00 | 155.34 | 4 | 2.04 B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

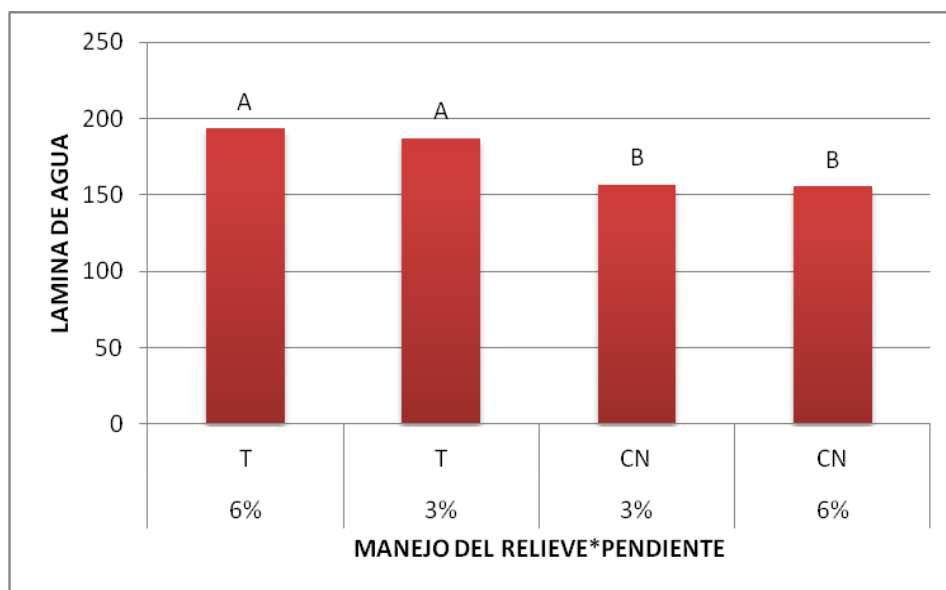


Figura 2: Lámina total de agua almacenada en el suelo al momento de siembra del cultivo, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 3: Análisis de varianza del contenido de humedad de maíz en V1

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.65 | 0.56 | 9.10 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | | |
|------------------------------|---------|----|---------|-------|---------|------|--------|
| Modelo | 6082.94 | 3 | 2027.65 | 7.42 | 0.0045 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 931.62 | 1 | 931.62 | 3.41 | 0.0896 |
| PENDIENTE | 646.56 | 1 | 646.56 | 2.37 | 0.1500 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIENTE | 4504.76 | 1 | 4504.76 | 16.48 | 0.0016 | | |
| Error | 3279.57 | 12 | 273.30 | | | | |
| Total | 9362.51 | 15 | | | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=34.70835

Error: 273.2979 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. | | |
|--------------------|-----------|--------|---|------|---|---|
| CN | 3.00 | 199.72 | 4 | 8.27 | A | |
| T | 6.00 | 197.18 | 4 | 8.27 | A | |
| CN | 6.00 | 178.88 | 4 | 8.27 | A | B |
| T | 3.00 | 150.90 | 4 | 8.27 | B | |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

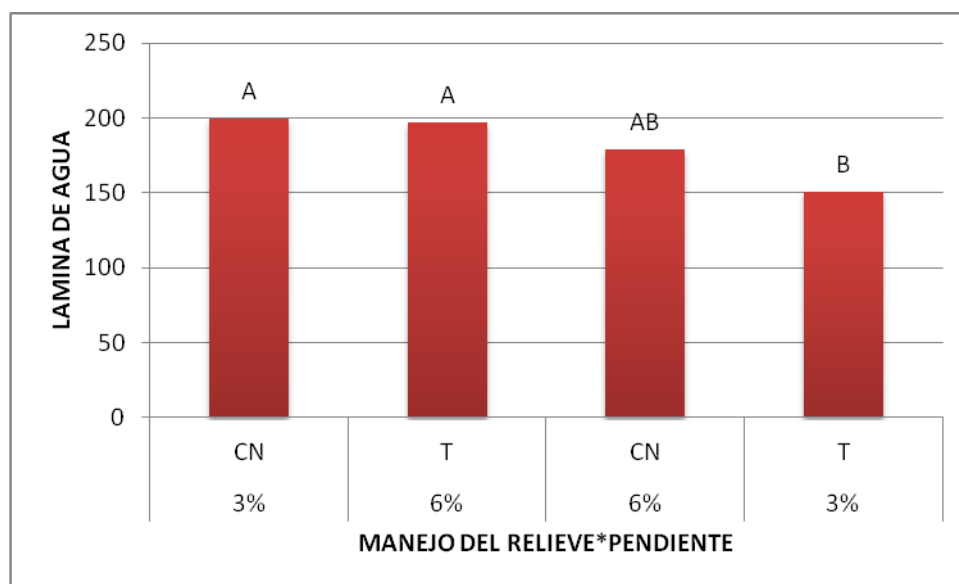


Figura 3: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de 1 hoja desarrollada en el cultivo de maíz, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 4: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V3 (25 de diciembre).

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.62 | 0.52 | 9.73 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------------------------|---------|---------|--------|---------|--------------------|
| Modelo | | 5442.80 | 3 | 1814.27 | 6.40 0.0078 |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 669.90 | 1 | 669.90 2.36 0.1503 |
| PENDIENTE | | 766.32 | 1 | 766.32 | 2.70 0.1262 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN. | | 4006.57 | 1 | 4006.57 | 14.12 0.0027 |
| Error | 3404.40 | 12 | 283.70 | | |
| Total | 8847.19 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=35.36269

Error: 283.6996 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|---|----------|
| T | 6.00 | 189.33 | 4 | 8.42 A |
| CN | 3.00 | 188.43 | 4 | 8.42 A |
| CN | 6.00 | 170.62 | 4 | 8.42 A B |
| T | 3.00 | 143.84 | 4 | 8.42 B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

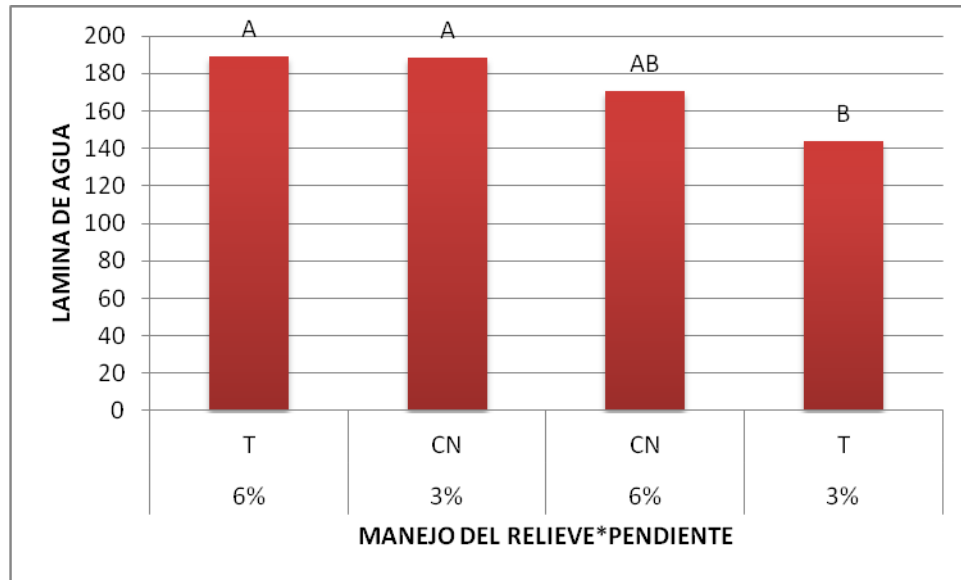


Figura 4: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de V3 (Tres hojas desarrolladas en el cultivo de maíz), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente

Cuadro 5: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V3 (30 diciembre)

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.96 | 0.96 | 4.35 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|----------|----------|---------|---------|--------------------------|
| Modelo | | 18589.40 | 3 | 6196.47 | 108.80 <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 6749.03 | 1 | 6749.03 118.51 <0.0001 |
| PENDIENTE | | 4088.00 | 1 | 4088.00 | 71.78 <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN.. | | | | 7752.36 | 1 7752.36 136.12 <0.0001 |
| Error | 683.41 | 12 | 56.95 | | |
| Total | 19272.81 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=15.84409

Error: 56.9512 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|---|--------|
| CN | 3.00 | 199.92 | 4 | 3.77 A |
| T | 6.00 | 190.82 | 4 | 3.77 A |
| CN | 6.00 | 187.87 | 4 | 3.77 A |
| T | 3.00 | 114.82 | 4 | 3.77 B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

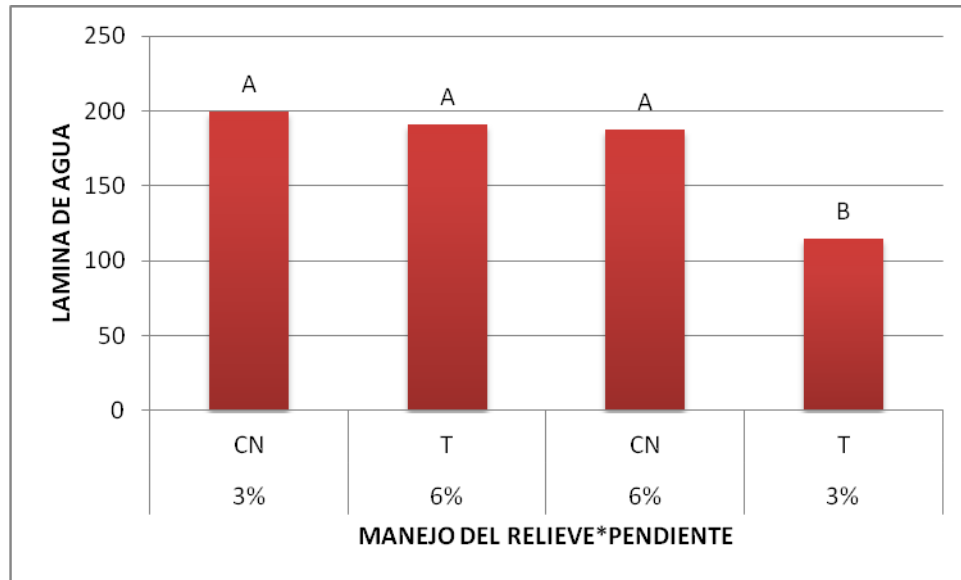


Figura 5: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de 3 hojas desarrolladas en el cultivo de Maíz (V3), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente

Cuadro 6: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V4

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.82 | 0.78 | 8.81 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | | |
|------------------------------|----------|----|----------|-------|----------|-------|---------|
| Modelo | 16781.70 | 3 | 5593.90 | 18.24 | 0.0001 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 2740.78 | 1 | 2740.78 | 8.94 | 0.0113 |
| PENDIENTE | 72.63 | 1 | 72.63 | 0.24 | 0.6353 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN.. | | | 13968.29 | 1 | 13968.29 | 45.54 | <0.0001 |
| Error | 3680.61 | 12 | 306.72 | | | | |
| Total | 20462.31 | 15 | | | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=36.76926

Error: 306.7172 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. | | |
|--------------------|-----------|--------|---|------|---|---|
| CN | 3.00 | 243.56 | 4 | 8.76 | A | |
| T | 6.00 | 213.12 | 4 | 8.76 | A | B |
| CN | 6.00 | 180.20 | 4 | 8.76 | B | C |
| T | 3.00 | 158.29 | 4 | 8.76 | C | |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

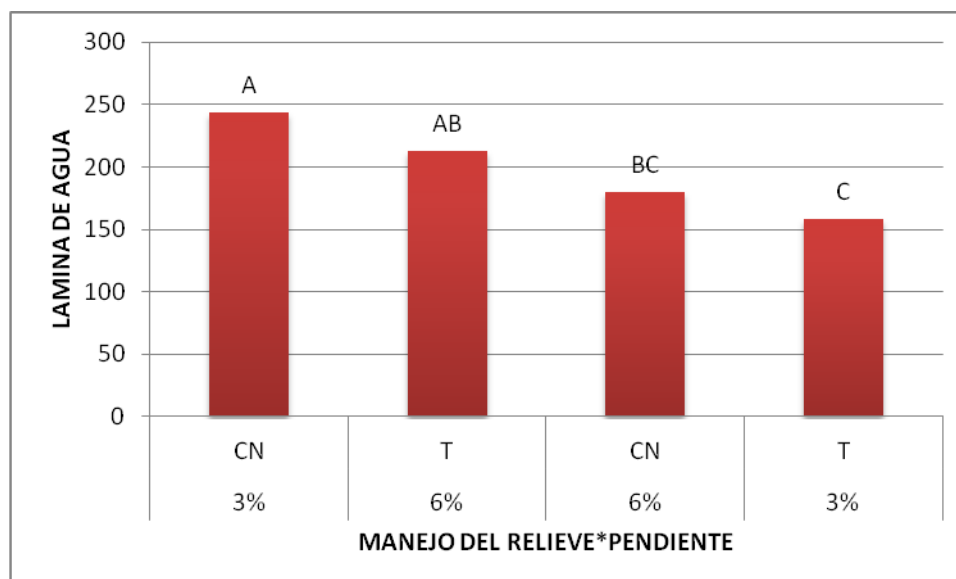


Figura 6: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de V4 (Cuatro hojas desarrolladas en el cultivo de maíz), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente

Cuadro 7: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en V12

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.62 | 0.53 | 13.54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | | |
|-----------------------------|---------|----|---------|------|---------|------|--------|
| Modelo | 3156.47 | 3 | 1052.16 | 6.62 | 0.0069 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 1091.31 | 1 | 1091.31 | 6.87 | 0.0224 |
| PENDIENTE | | | 1318.78 | 1 | 1318.78 | 8.30 | 0.0138 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN. | 746.38 | 1 | 746.38 | 4.70 | 0.0511 | | |
| Error | 1907.43 | 12 | 158.95 | | | | |
| Total | 5063.90 | 15 | | | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=26.46974

Error: 158.9526 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. | |
|--------------------|-----------|--------|---|------|---|
| CN | 3.00 | 117.29 | 4 | 6.30 | A |
| T | 3.00 | 87.12 | 4 | 6.30 | B |
| CN | 6.00 | 85.48 | 4 | 6.30 | B |
| T | 6.00 | 82.62 | 4 | 6.30 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

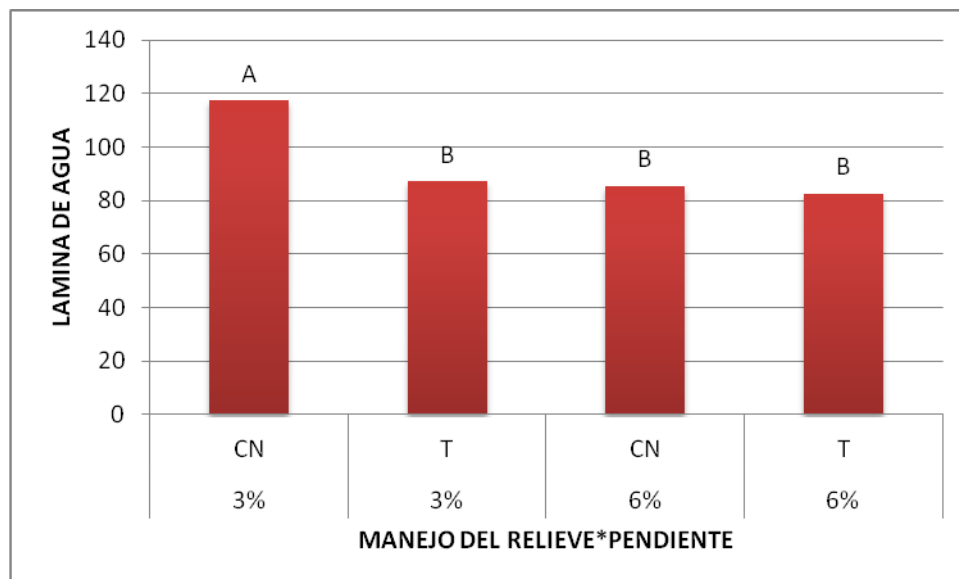


Figura 7: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de V12 (12 hojas desarrolladas en el cultivo de maíz), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente

Cuadro 8: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en VT

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.83 | 0.79 | 8.84 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | | |
|------------------------------|----------|----|---------|-------|---------|-------|--------|
| Modelo | 10659.81 | 3 | 3553.27 | 19.35 | 0.0001 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 6588.97 | 1 | 6588.97 | 35.88 | 0.0001 |
| PENDIENTE | 35.73 | 1 | 35.73 | 0.19 | 0.6670 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN.. | | | 4035.11 | 1 | 4035.11 | 21.97 | 0.0005 |
| Error | 2203.49 | 12 | 183.62 | | | | |
| Total | 12863.30 | 15 | | | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=28.44991

Error: 183.6243 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. | |
|--------------------|-----------|--------|---|------|---|
| CN | 3.00 | 190.91 | 4 | 6.78 | A |
| CN | 6.00 | 156.16 | 4 | 6.78 | B |
| T | 6.00 | 147.34 | 4 | 6.78 | B |
| T | 3.00 | 118.56 | 4 | 6.78 | C |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada relación suelo-gradiante pendiente.

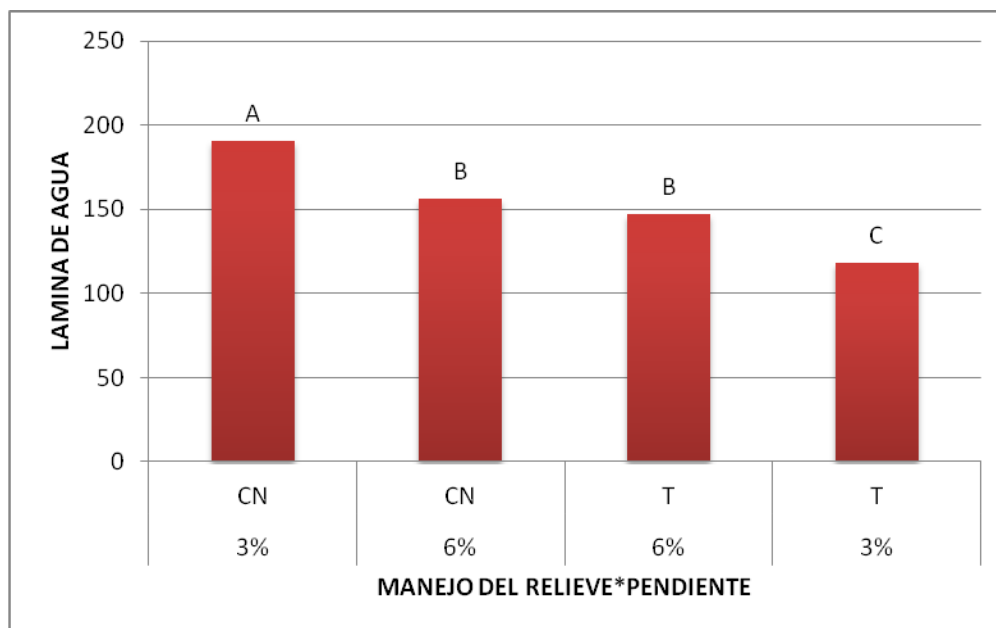


Figura 8: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de VT (Floración) en el cultivo de maíz, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 9: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en R1

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.88 | 0.85 | 10.89 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------------------------|----------|----|----------|-------|---------|
| Modelo | 25754.67 | 3 | 8584.89 | 29.04 | <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE | 23970.01 | 1 | 23970.01 | 81.10 | <0.0001 |
| PENDIENTE | 8.25 | 1 | 8.25 | 0.03 | 0.8701 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN. | 1776.41 | 1 | 1776.41 | 6.01 | 0.0305 |
| Error | 3546.88 | 12 | 295.57 | | |
| Total | 29301.55 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=36.09511

Error: 295.5731 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|---|--------|
| CN | 3.00 | 207.80 | 4 | 8.60 A |
| CN | 6.00 | 185.29 | 4 | 8.60 A |
| T | 6.00 | 128.95 | 4 | 8.60 B |
| T | 3.00 | 109.31 | 4 | 8.60 B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

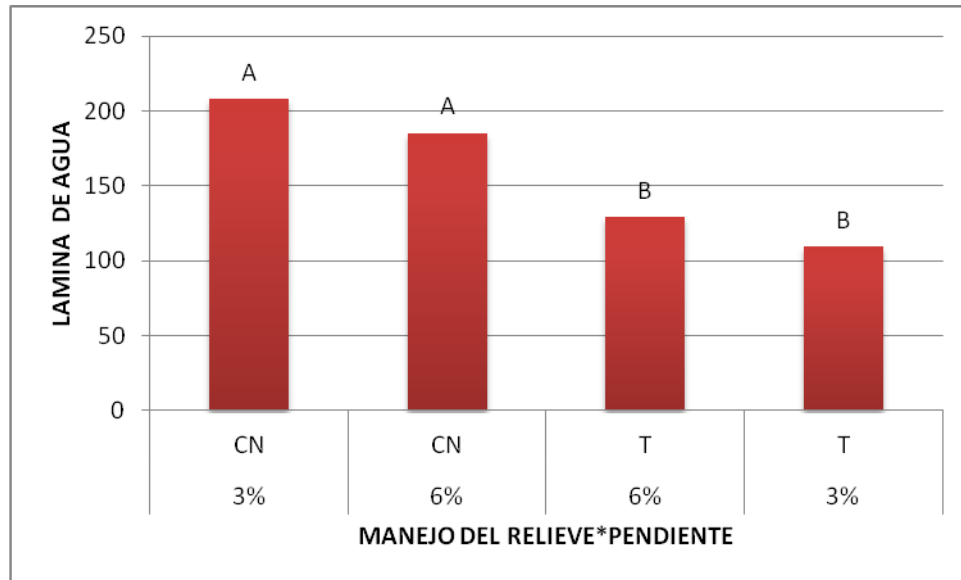


Figura 9: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de R1(Emergencia de estigmas) en el cultivo de maíz, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 10: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en R3

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.70 | 0.62 | 13.65 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|----------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 14653.24 | 3 | 4884.41 | 9.29 | 0.0019 |
| PENDIENTE | 2258.15 | 1 | 2258.15 | 4.29 | 0.0605 |
| MANEJO DEL RELIEVE | 7049.28 | 1 | 7049.28 | 13.40 | 0.0033 |
| PENDIENTE*MANEJO DEL RELIE.. | 5345.80 | 1 | 5345.80 | 10.16 | 0.0078 |
| Error | 6310.99 | 12 | 525.92 | | |
| Total | 20964.23 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=48.14754

Error: 525.9161 gl: 12

| PENDIENTE | MANEJO DEL RELIEVE | Medias | n | E.E. |
|-----------|--------------------|--------|---|-------|
| 3.00 | CN | 195.43 | 4 | 11.47 |
| 6.00 | CN | 182.64 | 4 | 11.47 |
| 6.00 | T | 177.21 | 4 | 11.47 |
| 3.00 | T | 116.90 | 4 | 11.47 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

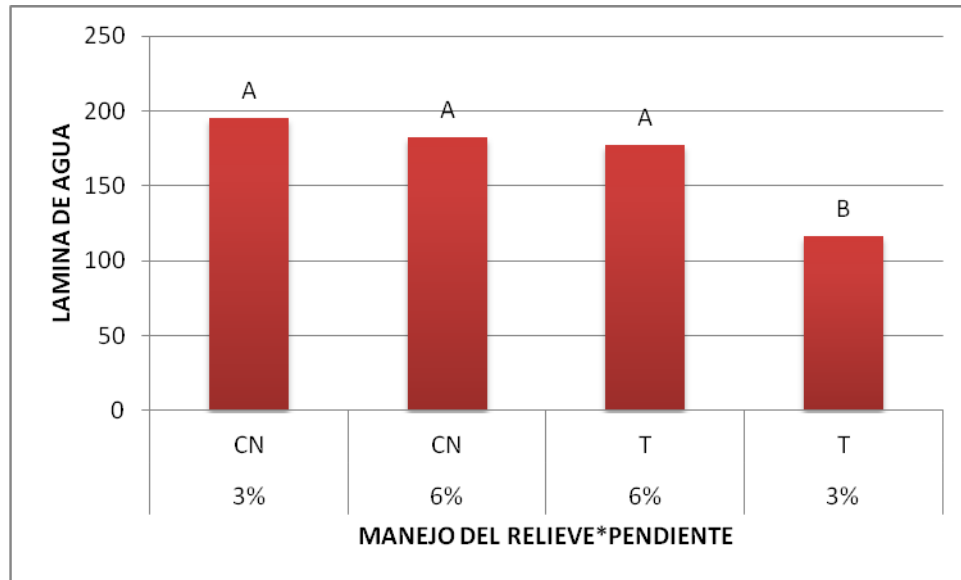


Figura 10: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de R3 (Maíz en grano lechoso), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 11: Análisis de varianza del contenido de humedad del maíz en R4

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LÁMINA DE AGUA | 16 | 0.90 | 0.87 | 10.79 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------------------|----------|----|----------|-------|------------------------|
| Modelo | 27899.28 | 3 | 9299.76 | 35.64 | <0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE | | | 13563.51 | 1 | 13563.51 51.98 <0.0001 |
| PENDIENTE | | | 8818.62 | 1 | 8818.62 33.79 0.0001 |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIENTE.. | | | 5517.15 | 1 | 5517.15 21.14 0.0006 |
| Error | 3131.46 | 12 | 260.96 | | |
| Total | 31030.74 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=33.91554

Error: 260.9551 gl: 12

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|---|--------|
| CN | 6.00 | 183.76 | 4 | 8.08 A |
| CN | 3.00 | 173.94 | 4 | 8.08 A |
| T | 6.00 | 162.66 | 4 | 8.08 A |
| T | 3.00 | 78.57 | 4 | 8.08 B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

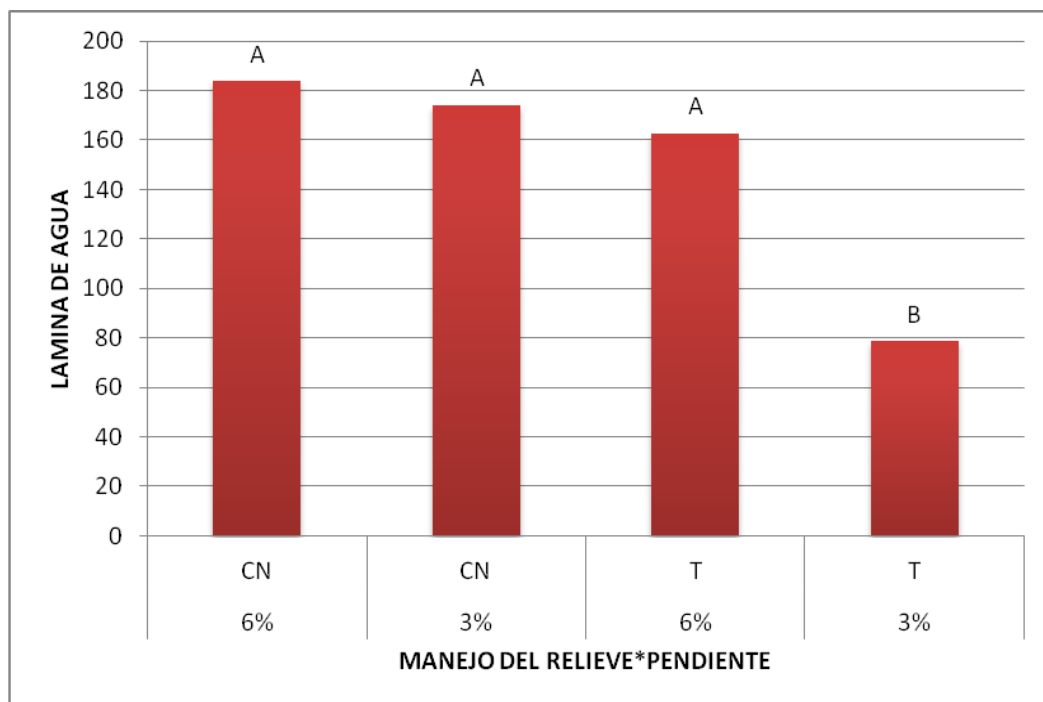


Figura 11: Lámina total de agua almacenada en el suelo en el estadio fenológico de R4 (Maíz en grano pastoso), en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Cuadro 12: Análisis de varianza En madurez fisiológica

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LAMINA DE AGUA | 16 | 0.69 | 0.62 | 19.80 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|----------|----|----------|-------|---------|
| Modelo | 35583.04 | 3 | 11861.01 | 9.04 | 0.0021 |
| PENDIENTE | 7864.14 | 1 | 7864.14 | 5.99 | 0.0307 |
| MANEJO DEL RELIEVE | 27254.71 | 1 | 27254.71 | 20.76 | 0.0007 |
| PENDIENTE*MANEJO DEL RELIE.. | 464.19 | 1 | 464.19 | 0.35 | 0.5631 |
| Error | 15751.64 | 12 | 1312.64 | | |
| Total | 51334.67 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=76.06557

Error: 1312.6364 gl: 12

| PENDIENTE | MANEJO DEL RELIEVE | Medias | n | E.E. |
|-----------|--------------------|--------|---|-------|
| 3.00 | CN | 251.80 | 4 | 18.12 |
| 6.00 | CN | 196.69 | 4 | 18.12 |
| 3.00 | T | 158.49 | 4 | 18.12 |
| 6.00 | T | 124.92 | 4 | 18.12 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

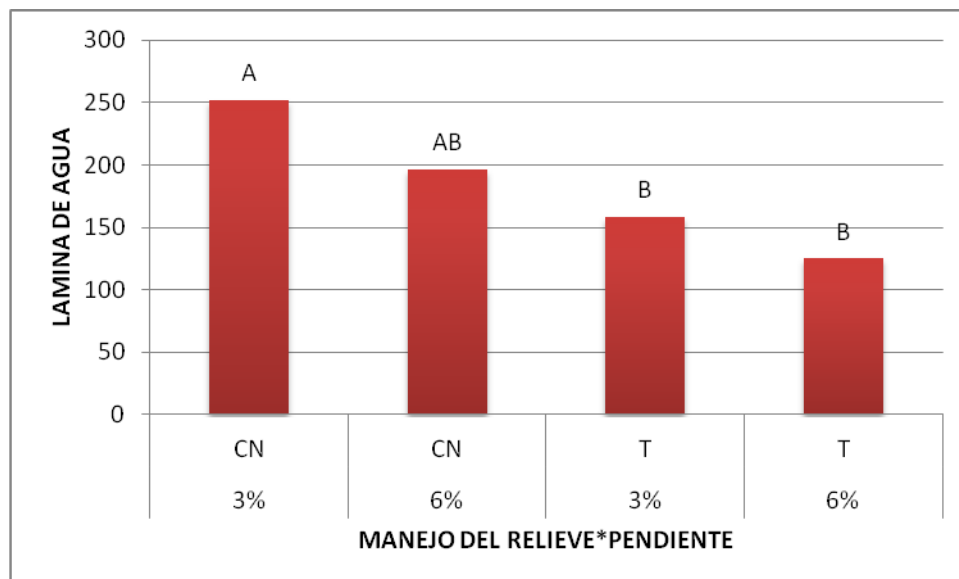


Figura 12: Lámina total de agua almacenada en el suelo en madurez de cosecha, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

Rendimiento del Maíz

Cuadro 13: Análisis de varianza del Rendimiento de maíz

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|---------------------|----|----------------|-------------------|------|
| RENDIMIENTO DE MAIZ | 28 | 0.72 | 0.69 | 9.29 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | | |
|-----------------------------|-----------|----|-----------|-------|---------|--|--|
| Modelo | 178814.43 | 3 | 59604.81 | 20.84 | <0.0001 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE | | 1 | 138875.28 | 48.56 | <0.0001 | | |
| PENDIENTE | 6517.55 | 1 | 6517.55 | 2.28 | 0.1442 | | |
| MANEJO DEL RELIEVE*PENDIEN. | 33421.60 | 1 | 33421.60 | 11.69 | 0.0023 | | |
| Error | 68637.98 | 24 | 2859.92 | | | | |
| Total | 247452.40 | 27 | | | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=78.85034

Error: 2859.9157 gl: 24

| MANEJO DEL RELIEVE | PENDIENTE | Medias | n | E.E. |
|--------------------|-----------|--------|---|-------|
| CN | 3.00 | 695.88 | 7 | 20.21 |
| CN | 6.00 | 596.27 | 7 | 20.21 |
| T | 6.00 | 524.52 | 7 | 20.21 |
| T | 3.00 | 485.93 | 7 | 20.21 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para cada relación suelo-gradiente pendiente.

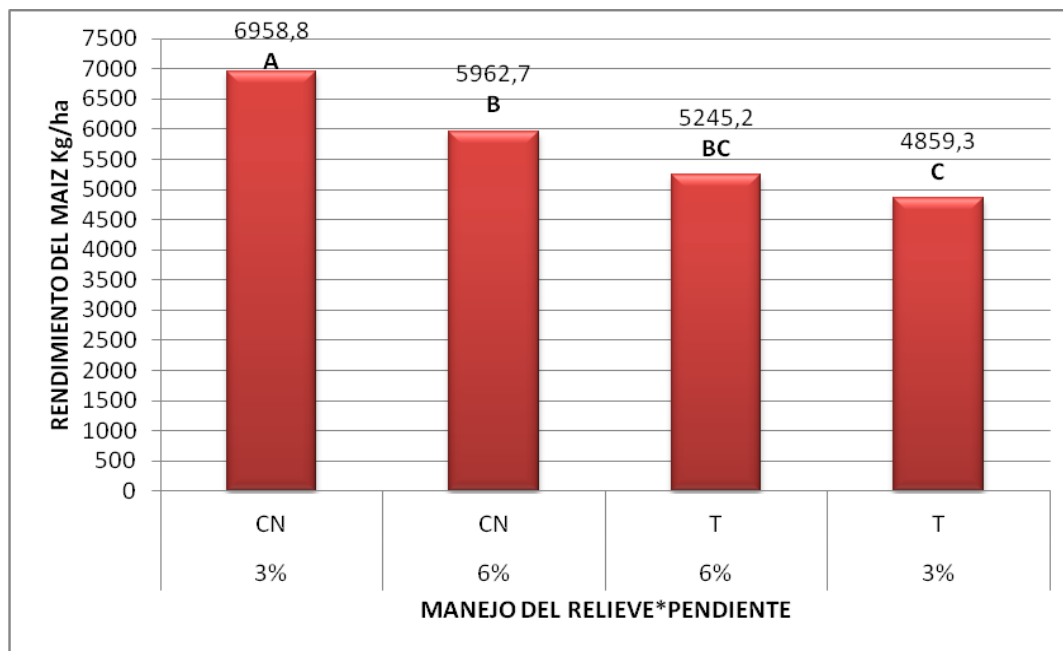


Figura 13: Rendimiento del cultivo de Maíz (Kg /ha) en madurez fisiológica, en función de los diferentes tratamientos de manejo del relieve y de la pendiente.

| Día del mes | Dic-09 | Enero | Feb | Marzo | Abril |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | 8 mm |
| 3 | | 25 mm | 13 mm | | |
| 4 | 15 mm | | | | 4 mm |
| 5 | | 4 mm | | | |
| 6 | 6 mm | | 3 mm | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | 27 mm | | | | |
| 11 | | 4 mm | 5 mm | | |
| 12 | | | | 56 mm | |
| 13 | | | 50 mm | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | 17 mm | | 20 mm | | |
| 16 | 12 mm | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | 5 mm | | | |
| 19 | | | | | |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 20 | | | 45 mm | | |
| 21 | | | | 11 mm | |
| 22 | 3 mm | | | | |
| 23 | | 1 mm | | | |
| 24 | 10 mm | | | | |
| 25 | | | | | |
| 26 | | | | | |
| 27 | | | | | |
| 28 | 27 mm | | | | |
| 29 | | | | | |
| 30 | 2 mm | 2 mm | | | |
| 31 | 40 mm | | | | |
| | | | | | |
| Total | 144 | 41 | 136 | 67 | 12 |

SUMA TOTAL = 400 mm

Figura 14: Registro pluviométrico de la campaña 2009-2010 en el área del ensayo.

| USO DE LA TIERRA | PENDIENTE (%) | CARACTERÍSTICAS HIDROLOGICAS | GRUPO DE SUELO | | | |
|----------------------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|----|----|----|
| | | | A | B | C | D |
| Barbecho | >3 | R | 15 | 8 | 6 | 4 |
| | | N | 17 | 11 | 8 | 6 |
| | <3 | R/N | 20 | 14 | 11 | 8 |
| | | R | 23 | 13 | 8 | 6 |
| Cultivos en hilera | >3 | N | 25 | 16 | 11 | 8 |
| | <3 | R/N | 28 | 19 | 14 | 11 |
| Cereales de invierno | >3 | R | 29 | 17 | 10 | 8 |
| | | N | 32 | 19 | 12 | 10 |
| Rotación de cultivos pobres | <3 | R/N | 34 | 21 | 14 | 12 |
| | >3 | R | 26 | 15 | 9 | 6 |
| | >3 | N | 28 | 17 | 11 | 8 |
| | <3 | R/N | 30 | 19 | 13 | 8 |
| Rotación de cultivos densos | >3 | R | 37 | 20 | 12 | 9 |
| | | N | 42 | 23 | 14 | 11 |
| | <3 | R/N | 47 | 25 | 16 | 13 |
| | | Pobre | 24 | 14 | 8 | 6 |
| | | Media | 53 | 23 | 14 | 9 |
| | >3 | Buena | * | 33 | 18 | 13 |
| Praderas | | Muy buena | * | 41 | 22 | 15 |
| | | Pobre | 58 | 25 | 12 | 7 |
| | | Media | * | 35 | 17 | 10 |
| | <3 | Buena | * | * | 22 | 14 |
| | | Muy buena | * | * | 25 | 16 |
| | | Pobre | 62 | 26 | 15 | 10 |
| Plantaciones regulares | >3 | Media | * | 34 | 19 | 14 |
| | | Buena | * | 42 | 22 | 15 |
| aprovechamiento forestal | >3 | Pobre | * | 34 | 19 | 14 |
| | <3 | Media | * | 42 | 22 | 15 |
| | | Buena | * | 50 | 25 | 16 |
| | | Muy clara | 40 | 17 | 8 | 5 |
| Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.) | | Clara | 60 | 24 | 14 | 10 |
| | | Media | * | 34 | 22 | 16 |
| | | Espesa | * | 47 | 31 | 23 |
| | | Muy espesa | * | 65 | 43 | 33 |

N: DENOTA CULTIVO SEGÚN LAS CURVAS DE NIVEL.
R: DENOTA CULTIVO SEGÚN LA LÍNEA DE MÁXIMA PENDIENTE.

Figura 15: Estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm) para humedad previa intermedia.

Precipitación total en los 5 días anteriores

| HUMEDAD PREVIA | PLANTAS EN PERIODO LATENTE | PLANTAS EN PERIODO DE CRECIMIENTO |
|----------------|----------------------------|-----------------------------------|
| I (SECO) | MENOS DE 13 mm | MENOS DE 35 mm |
| II (NORMAL) | DE 13 A 32 mm | DE 35 A 52 mm |
| III (HUMEDO) | MÁS DE 32 mm | MÁS DE 52 mm |

Figura 16: Cálculo de P_o según la precipitación antecedente