



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**“EFECTO DE LA DIRECCIÓN DE SIEMBRA EN TERRAZAS
DE ABSORCIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA
EFICIENCIA DE USO DE AGUA DEL MAÍZ”**

Alumno: Gastaldi, Pedro Ignacio.

DNI: 36.038.143

Director: Cisneros, José M.

Co- Director: Montesano, Alberto.

Río Cuarto- Córdoba

Junio /2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Efecto de la dirección de siembra en terrazas de absorción sobre el rendimiento y la eficiencia de uso de agua del maíz”.

Autor: Gastaldi, Pedro Ignacio.

DNI: 36.038.143

Director: Cisneros, José M.

Co-Director: Montesano, Alberto.

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

Degioanni, Américo José. _____

Giayetto, Oscar. _____

Fecha de presentación: ____/____/____

Secretario Académico

Agradecimientos:

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia por el apoyo incondicional y constante que tuvieron durante el transcurso de mi carrera, ya que sin ellos hoy no podría haber concluido la misma.

A todos mis amigos y los que he adquirido en el transcurso de mi formación por estar siempre y brindarme su apoyo.

A mi Director de tesis José Manuel Cisneros, y co- director Alberto Montesano, por ser parte de mi carrera, y por haberme orientado, enseñado y brindado todo su tiempo incondicionalmente para poder llevar adelante este trabajo

A la Universidad Nacional de Rio Cuarto y los profesores que han pasado en el transcurso de mi profesión, por haberme instruido profesionalmente en el campo de las ciencias agrarias y ser parte de ella

Al INTA de Rio Cuarto por brindarme las instalaciones necesarias para procesar las muestras de humedad y rendimiento.

A la profesora Mercedes Ibáñez, por dedicar su tiempo para explicarme el uso del programa INFOSTAT y ayudarme en el análisis estadístico de los datos del presente trabajo.

A la profesora Carmen Cholaky, por facilitarme la información de datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente de La Aguada y Alcira Gigena, los cuales fueron importantes para los cálculos del agua útil de cada uno de los establecimientos estudiados.

Al profesor Gabriel Esposito, por facilitarme material didáctico necesario para la conclusión y contrastación de los datos de evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua en maíz.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VIII
SUMMARY	IX
I.INTRODUCCIÓN.....	1
I.1.Antecedentes:	2
I.2.Hipótesis:	4
I.3.Objetivo:.....	4
I.4.Objetivos específicos:	4
II.MATERIALES Y MÉTODOS	5
II.1.Región de estudio	5
II.1.1.Suelos:	7
II.1.2.Clima:	7
II.2.Híbrido y fecha de siembra.....	7
II.3.Diseño experimental:	8
II.3.1.Tratamientos:	8
II.4.Determinaciones.....	11
II.4.1.Escurrimiento:	11
II.4.2.Evapotranspiración del cultivo:.....	12
II.4.3.Rendimiento en granos:.....	13
II.4.4.Eficiencia en el uso del agua.....	14
II.5.Interpretación de los resultados:	14
II.5.1.Rendimientos:.....	14
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
III.1.Condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo:	15
III.1.1.Precipitaciones:	15
III.1.2.Escurrimiento:.....	17
III.2.Evapotranspiración del cultivo:	18
III.3 Rendimiento en grano:.....	19
III.3.1.Establecimiento A. Gigena Norte:	19
III.3.2. Establecimiento A Gigena Oeste:	20
III.3.3.Establecimiento en La Aguada:	20

III.3.4 Rendimiento promedio ponderado en la terraza vs en el tratamiento a favor de la pendiente y su correspondiente análisis estadístico:	21
III.4.Eficiencia en el uso del agua:.....	22
IV.CONCLUSIONES	23
V.BIBLIOGRAFÍA.....	24
VI. ANEXOS	27
ANEXO 1: Precipitaciones mensuales	27
ANEXO 2: Volumen de escurrimiento.....	28
ANEXO 3: Análisis de la Varianza en Alcira Gigena hacia el Norte.....	28
ANEXO 4: Supuestos del ANOVA en Alcira Gigena hacia el Norte.	29
ANEXO 5: Análisis de la varianza en Alcira Gigena hacia el Oeste.....	29
ANEXO 6: Supuestos del ANOVA en Alcira Gigena hacia el Oeste	30
ANEXO 7: Análisis de la varianza en La Aguada.....	30
ANEXO 8: Supuestos del ANOVA en la Aguada.....	31
ANEXO 9: Análisis de la Varianza entre el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el Norte.	31
ANEXO 10: Supuestos del ANOVA para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el norte.....	32
ANEXO 11: Análisis de la varianza para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el Oeste.	32
ANEXO 12: Supuestos del ANOVA para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el Oeste.	33
ANEXO 13: Análisis de la varianza para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en La Aguada.	33
ANEXO 14: Supuestos del ANOVA para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en La Aguada.	34

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: mapa político de la provincia de Córdoba y área de estudio</i>	5
<i>Figura 2: detalle del área de estudio a: gigena norte; b: gigena oeste; c: la aguada</i>	5
<i>Figura 3. fotografía aérea con la ubicación del lugar de muestreo en el establecimiento ubicado de alcira gigena hacia el norte, tomada de google earth, 2017.</i>	6
<i>Figura 4. fotografía aérea con la ubicación del lugar de muestreo en el establecimiento ubicado en alcira gigena hacia el oeste, tomada de google earth, 2017.</i>	6
<i>Figura 5. fotografía aérea con la ubicación del lugar de muestreo en el establecimiento ubicado en la cercanía de la aguada, tomada de google earth, 2017</i>	6
<i>Figura 6: diseño de muestreos, con ubicación de tratamientos y bloques. las líneas punteadas corresponden a las líneas de siembra en curvas de nivel</i>	9
<i>Figura 7. corte transversal del sistema de terrazas de absorción.</i>	10
<i>Figura 8. Esquema para el cálculo ponderado de rendimiento considerando los tres sectores en que se puede dividir el sistema de terrazas</i>	11
<i>Figura 9. precipitaciones normales de la región y de la campaña 2014-15 para el establecimiento ubicado al norte de alcira gigena.</i>	15
<i>Figura 10. precipitaciones normales de la región y de la campaña 2014-15 para el establecimiento ubicado al oeste de alcira gigena.</i>	16
<i>Figura 11. precipitaciones normales del campo y de la campaña 2014-15 para el establecimiento ubicado en las cercanías de la aguada</i>	16

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. valores de evapotranspiración del cultivo promedio en mm .de los diferentes bloques y tratamientos para cada uno de los establecimientos en estudio.....</i>	18
<i>Tabla 2. rendimientos promedios en granos (kg/ha) obtenidos en el establecimiento ubicado en alcira gigena hacia el norte.</i>	19
<i>Tabla 3. rendimientos promedio en granos (kg/ha) obtenidos en el establecimiento ubicado en alcira gigena hacia el oeste.</i>	20
<i>Tabla 4. rendimientos promedio en grano (kg/ha) obtenidos en el establecimiento ubicado en las cercanías de la aguada.</i>	20
<i>Tabla 5. rendimiento medio (kg/ha) a favor de la pendiente vs el rendimiento medio ponderado (kg/ha) en la terraza y análisis estadístico de los establecimientos estudiados.</i>	21
<i>Tabla.6. eficiencia en el uso del agua promedio (kg/ha/mm) para los tres establecimientos estudiados.</i>	22

RESUMEN

Los suelos de aptitud de uso agrícola del norte del Departamento Río Cuarto en la provincia de Córdoba se caracterizan por presentar texturas superficiales franco arenosa, con moderada capacidad de retención de agua y altamente susceptibles a erosión hídrica. La aplicación de prácticas de conservación reduce las pérdidas de suelo y agua permitiendo una mayor captura y almacenaje de agua en el perfil que puede traducirse en un mayor rendimiento de los cultivos. En este trabajo se evalúa el efecto de las líneas de siembra en un sistema de terrazas de absorción sobre el rendimiento y la eficiencia de uso de agua en el cultivo de maíz. La hipótesis de partida plantea que las terrazas de absorción con siembras en contorno producen una mejora en el rendimiento del cultivo de maíz por un aumento en la eficiencia del uso del agua de lluvia. El trabajo se llevó a cabo durante el ciclo productivo 2014/2015 en tres sitios experimentales ubicados en el departamento de Río Cuarto: La Aguada y Alcira Gigena al norte y oeste de la localidad. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 3 bloques y 5 tratamientos. Los tratamientos fueron: T1: sin terrazas y líneas de siembra a favor de la pendiente y el resto de tratamientos con terrazas las líneas de siembra son en contorno variando la posición entre terrazas: T2: posición alta, T3: posición baja, T4: canal de la terraza y T5: lomo de la terraza. Se midió humedad de suelo tomando muestras hasta 1,5 m de profundidad. Se calculó escurrimiento superficial con el método de la CN y se estimó la evapotranspiración del cultivo para calcular la EUA. Se midió el rendimiento del cultivo de maíz tomando tres muestras por tratamiento. Los datos de rendimiento se sometieron a dos análisis de varianza con el programa INFOSTAT. Las comparaciones fueron por un lado el rendimiento entre los 5 tratamientos y por otro el rendimiento entre T1 y el rendimiento ponderado por la superficie que ocupa cada variante de la terraza (T2, T3, T4, T5). Los resultados entre tratamientos indican que en La Aguada hubo diferencias significativas de rendimientos entre T5 (8501 kg/ha) con T1, T2 y T3 (6440 kg/ha) y con T4 (4509 kg/ha). En Alcira Gigena norte hubo diferencias significativas entre T1, T3, T5 (8489 kg/ha) con T2, T4 (6884 kg/ha). En Alcira Gigena oeste no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados de comparaciones entre T1 y el rendimiento ponderado con el resto de tratamientos solo se encontraron diferencias significativas a favor de T1 en La Aguada. Los resultados obtenidos en este trabajo no son empíricamente claros como para convalidar o rechazar la hipótesis de partida.

Palabras claves: Escurrimiento superficial, manejo de relieve, prácticas de conservación de suelo.

SUMMARY

The fitness soils for agricultural use in the north of the Río Cuarto Department in the province of Córdoba are characterized by sandy loam surface textures, with moderate water retention capacity and highly susceptible to water erosion. The application of conservation practices reduces the losses of soil and water allowing a greater capture and storage of water in the profile that can be translated in a greater yield of the crops. In this paper, the effect of the planting lines in a system of absorption terraces on the yield and efficiency of water use in the corn crop is evaluated. The baseline hypothesis is that the absorption terraces with contour seeding produce an improvement in the yield of the corn crop by an increase in the efficiency of the use of rainwater. The work was carried out during the 2014/2015 production cycle in three experimental sites located in the department of Río Cuarto: La Aguada and Alcira Gigena to the north and west of the town. The experimental design was in randomized complete blocks with 3 blocks and 5 treatments. The treatments were: T1: without terraces and sowing lines in favor of the slope and the rest of treatments with terraces the sowing lines are in contour varying the position between terraces: T2: high position, T3: low position, T4: channel from the terrace and T5: back of the terrace. Soil moisture was measured by taking samples up to 1.5 m deep. Surface runoff was calculated with the CN method and crop evapotranspiration was estimated to calculate the EUA. The yield of the corn crop was measured by taking three samples per treatment. The performance data were subjected to two analysis of variance with the INFOSTAT program. The comparisons were on the one hand the yield between the 5 treatments and on the other the yield between T1 and the yield weighted by the surface occupied by each variant of the terrace (T2, T3, T4, T5). The results between treatments indicate that in La Aguada there were significant differences in yields between T5 (8501 kg / ha) with T1, T2 and T3 (6440 kg / ha) and with T4 (4509 kg / ha). In Alcira Gigena north there were significant differences between T1, T3, T5 (8489 kg / ha) with T2, T4 (6884 kg / ha). In Alcira Gigena west there were no significant differences between treatments. The results of comparisons between T1 and the weighted yield with the rest of the treatments only found significant differences in favor of T1 in La Aguada. The results obtained in this work are not empirically clear as to validate or reject the starting hypothesis.

Keywords: Surface runoff, relief management, soil conservation practices

I.INTRODUCCIÓN:

La cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo depende, entre otros factores, de la textura, la profundidad efectiva para el desarrollo de raíces y el relieve. Los suelos de aptitud de uso agrícola en la Región de la Pampa Arenosa (RPA), se caracterizan por presentar texturas superficiales arenosas a franco-arenosas con moderada capacidad de retención de agua (Barraco *et al.*, 2008).

El manejo integrado del agua tiene como objetivo optimizar su participación en la producción de los cultivos, tanto en lo que se refiere al incremento como la estabilización de los rendimientos, en un contexto de sustentabilidad. Es decir, de una permanente mejora en la capacidad productiva de las tierras, lo que constituye uno de los ejes del desarrollo sustentable, ya que su uso incorrecto puede generar graves problemas de degradación ambiental (Cantero *et al.*, 2004). Uno de estos problemas es la erosión laminar, la cual es resultado de la interacción del impacto de la gota de lluvia y el escurrimiento contribuyendo a la degradación del suelo y su impacto en la producción de sedimentos (Becker *et al.*, 2006). La erosión es un proceso natural de desprendimiento, remoción del suelo y material superficial, transporte y deposición en zonas alejadas de las que fueron removidas. Esta degradación es, casi siempre, magnificada por la acción antrópica (Gabioud *et al.*, 2014). Los suelos afectados por degradación y erosión disminuyen su capacidad productiva (Sadras y Calviño 2001).

Cualquier planificación y manejo racional de las tierras y el agua requiere una comprensión acabada de los procesos que controlan la escorrentía y la producción de sedimentos a nivel de la cuenca (Freedman *et al.*, 1998).

Por eso, el correcto manejo del suelo con técnicas conservacionistas (como siembra directa), y de manejo del agua, son alternativas posibles para disminuir algunos efectos negativos, teniendo en cuenta la conjugación de factores edafoclimáticos y del cultivo en una visión espacial y temporal adecuada (Cantero *et al.*, 2004).

La aplicación de técnicas de conservación o de manejo del relieve, como es el caso del cultivo en contorno, reduce la pérdida de suelo (Stevens *et al.*, 2009) y permite un mayor almacenaje de agua en el suelo para los cultivos, pudiendo aumentar su rendimiento (Casas *et al.*, 2008; Colombo *et al.*, 2012). El inconveniente de estas técnicas de control es su baja adopción, debido a que la mayoría de los productores las considera innecesarias o no reconoce su utilidad (Gil *et al.* 2008).

El uso de terrazas de base ancha en siembra directa permite ubicar las líneas de siembra sin respetar las curvas de nivel. En este trabajo se propone evaluar los impactos del sistema de siembra en terrazas de absorción sobre el rendimiento del cultivo de maíz, en ambientes ondulados de Córdoba.

I.1. Antecedentes:

En el establecimiento “Marzo” en María Teresa, provincia de Santa fe, se sistematizó un lote de 45 ha que presenta un suelo de la serie Venado Tuerto, Argiudol háplico donde se realizaron determinaciones de humedad a 0,30; 0,60 y 0,90 m de profundidad. Se observó que en el testigo la diferencia de humedad retenida, entre la media loma y el bajo (a favor del bajo) fue en promedio del 9, 6 y 5 %, respectivamente. En la parcela en contorno estas diferencias de humedad fueron del 2, 1,5 y 1 %, para las mismas profundidades, lo que demuestra en este caso una mejor distribución del agua de escurrimiento a lo largo del relieve (Agrolluvia, 2009).

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 utiliza o adopta ninguna estrategia de aprovechamiento del agua de lluvia dado que mayoritariamente las labores 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 esfuerzo político debe orientarse a utilizar prácticas de conservación de suelo y agua tales como el manejo de la condición superficial del suelo y del relieve, que permitan un mejor aprovechamiento del recurso hídrico (Cisneros *et al.*, 2008).

Investigaciones realizadas por el INTA indican que para obtener una cosecha satisfactoria, por ejemplo 10.000 kg/ha de maíz, se necesitan más de 500 mm de agua disponible para el vegetal en su ciclo 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 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 realizado durante décadas y a la falta de rotaciones (Salinas *et al.*, 2006).

En la zona de Alcira, Estación Gigena, (ubicada en el centro oeste de la provincia de Córdoba), en cercanías de donde se realizó este trabajo, se evaluó el impacto en el rendimiento de maíz sembrado en curvas de nivel, analizando la humedad del suelo. Dicho estudio demostró diferencias significativas en el rendimiento asociadas al balance hídrico del cultivo, obteniéndose rendimientos mayores con el empleo de la siembra en curvas a nivel, respecto al tratamiento de siembra a favor de la pendiente. En ambos casos, con pendientes del orden del 3 y 6 % (Colombo, *Comunicación personal*). En La Aguada y Alcira Gigena, en los mismos establecimientos evaluados en el presente estudio y considerando el mismo diseño

experimental Giacardi (2015), evaluó la variación del rendimiento de los cultivos de soja y maíz sembrados en curvas a nivel y terrazas de absorción en contraste a la siembra a favor de la pendiente. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas tanto en maíz como en soja determinando que las siembras en curvas a nivel combinadas con terrazas de absorción aumentan significativamente el rendimiento de los cultivos comparado con siembras a favor de la pendiente. En dos de los campos aquí estudiados, uno ubicado en la zona de La Aguada y el otro a 20 km de Alcira Gigena en ambientes de media loma con pendiente del 1,5 al 2,5 %, se llevó a cabo el mismo estudio en terrazas de absorción y curvas de nivel, evaluando el impacto de las mismas sobre el rendimiento del cultivo de soja y el almacenaje de agua en comparación con la siembra a favor de la pendiente. El diseño experimental fue el mismo que se desarrolló en el presente trabajo con 3 bloques y 5 tratamientos en los cuales no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de rendimiento del cultivo de soja entre ellos (Sona, 2016). En el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto durante el ciclo agrícola 2001/02, sobre un suelo Hapludol típico se llevó a cabo un ensayo de producción de cultivo de maíz bajo diferentes regímenes de riego donde la eficiencia de uso de agua (EUA) alcanzó valores comprendidos entre 26 y 29 kg/mm, sin observar diferencias significativas entre los tratamientos, aunque el valor más alto correspondió al tratamiento sin riego (Rivetti, 2006).

Experiencias de fertilización de maíz realizadas en Tres Arroyos, (Bs. As.) compararon plantas no fertilizadas y plantas fertilizadas con NP. Éstas últimas mostraron un mayor rendimiento y eficiencia en el uso del agua como consecuencia de que pueden profundizar más el perfil del suelo y extraer agua a mayor profundidad (Darwich, 2006).

En este trabajo se pretende replicar la experiencia para evaluar el impacto de las prácticas de conservación y manejo del relieve (cultivos en curvas de nivel y en terrazas de absorción) sobre la disponibilidad hídrica y el rendimiento de maíz en suelos de textura franca arenosa de la provincia de Córdoba.

I.2.Hipótesis:

- a) Las terrazas de absorción con líneas de siembra en contorno producen un aumento en el rendimiento del cultivo de maíz por una mejor eficiencia de uso del agua de lluvia.
- b) En el canal y en el lomo de las terrazas de absorción se produce un incremento del rendimiento asociado a la disponibilidad hídrica.

I.3.Objetivo:

Evaluar el impacto de la dirección de la línea de siembra sobre la humedad edáfica y el rendimiento de maíz en un sistema de terrazas de absorción.

I.4.Objetivos específicos:

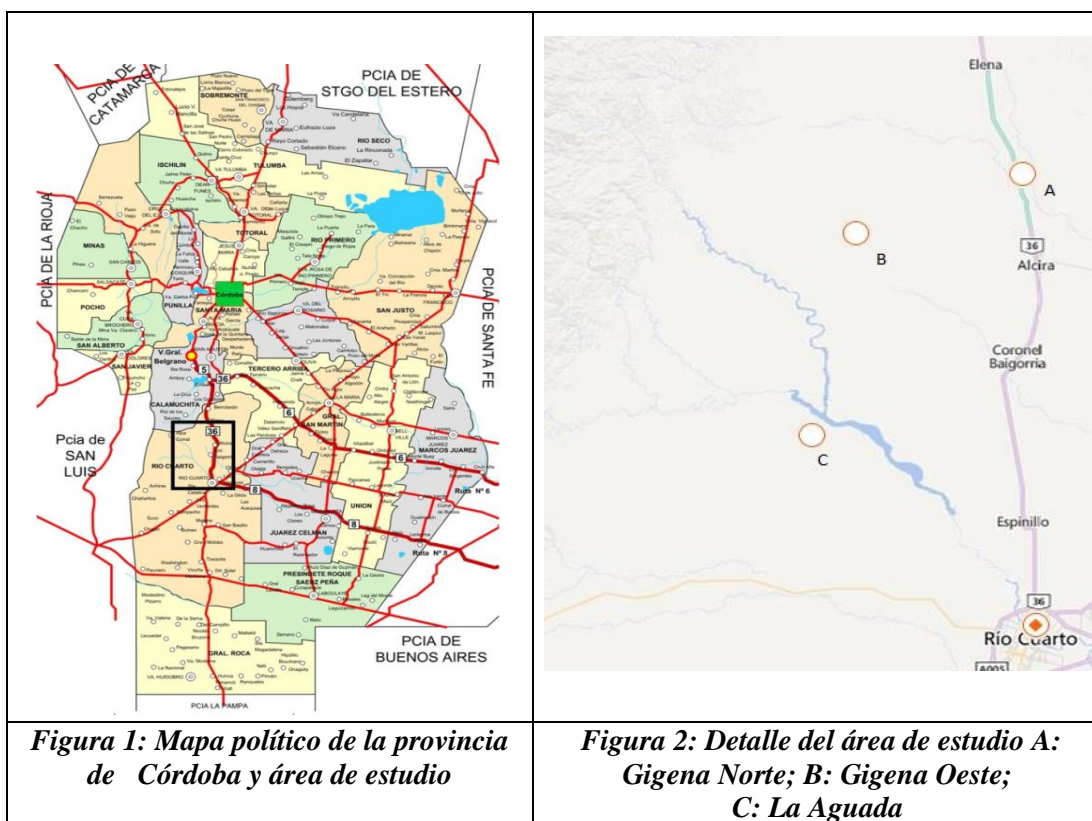
- Evaluar el rendimiento de maíz en distintas posiciones topográficas de un sistema de terrazas de absorción con siembras en contorno.
- Calcular el balance hídrico para el cultivo y para las dos situaciones de siembra.
- Evaluar la eficiencia de uso del agua en maíz.

II.MATERIALES Y MÉTODOS

II.1.Región de estudio

El trabajo se llevó a cabo durante el ciclo productivo 2014/2015 en tres establecimientos rurales del norte del departamento de Río Cuarto. Uno de ellos está ubicado a 35 km al oeste de esta ciudad homónima, en la zona de La Aguada, y los dos restantes en la zona de Alcira Gigena. En la Figura 1 se muestra la localización relativa del área en la Provincia de Córdoba, y en la Figura 2 su localización más detallada. Las Figuras 3, 4 y 5 muestran las características fisiográficas de cada una de las zonas de estudio.

En cada uno de estos sitios se ha implementado una sistematización en base a terrazas de absorción, las cuales serán utilizadas para el testeo de las hipótesis planteadas



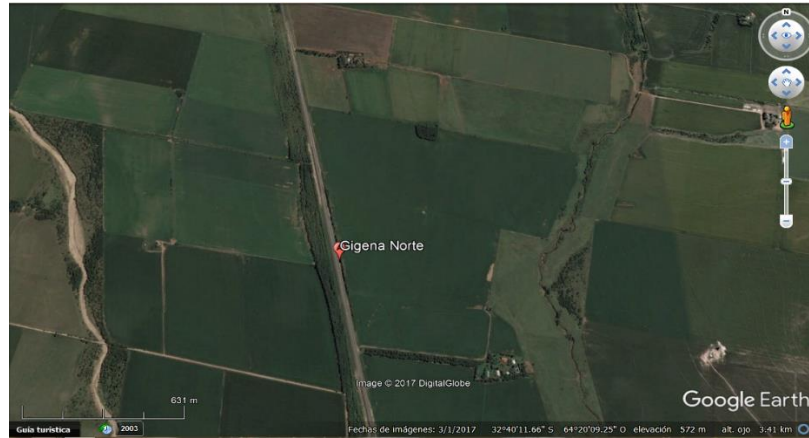


Figura 3. Fotografía aérea con la ubicación del lugar de muestreo en el establecimiento ubicado de Alcira Gigena hacia el Norte, tomada de Google Earth, 2017.

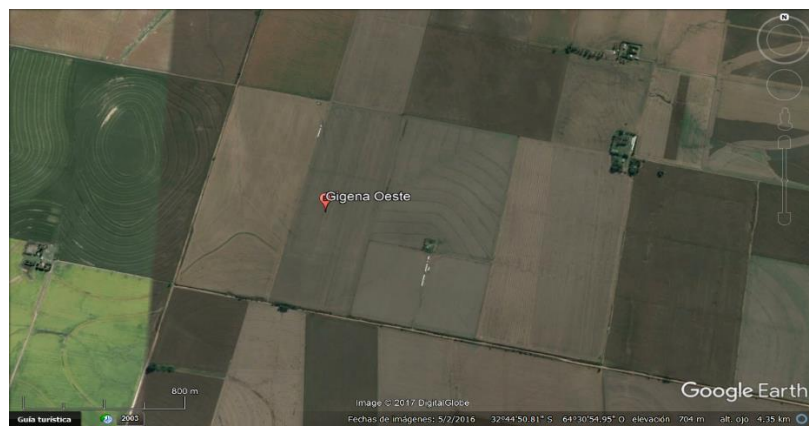


Figura 4. Fotografía aérea con la ubicación del lugar de muestreo en el Establecimiento ubicado en Alcira Gigena hacia el Oeste, tomada de Google Earth, 2017.

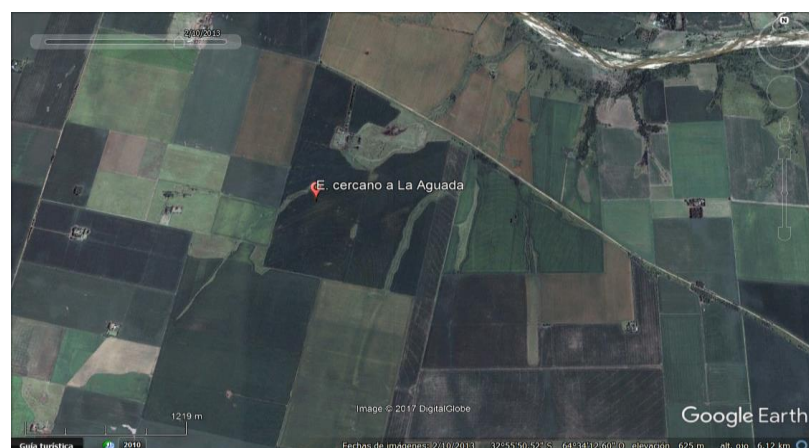


Figura 5. Fotografía aérea con la ubicación del lugar de muestreo en el establecimiento ubicado en la cercanía de La Aguada, tomada de Google Earth, 2017

II.1.1. Suelos:

Los suelos en donde se realizaron los ensayos corresponden a dos unidades cartográficas diferentes del mapa de suelos de INTA, escala 1:500.000 (Gorgas y Tassile, 2003), y sus características principales fueron tomadas del sitio web <http://www.ordenamientoterritorialcba.com> y se describen a continuación:

a. Suelos de los sitios A: Gigena Norte y B: Gigena Oeste

Los suelos están ubicados en la unidad cartográfica Mnen-7, y se clasifican como Haplustoles énticos, de textura franco-arenosa, con secuencia de horizontes A-AB-C-Ck. En ambas situaciones el Ck se encontró a una profundidad de 60 cm. El ensayo está ubicado en la posición de media loma. En ambos sitios se manifiestan signos de erosión pasada, tanto laminar como en surcos. Se clasificaron dentro del grupo hidrológico B de la clasificación del USDA para el método de la curva número.

b. Suelo del sitio C: La Aguada

Está ubicado en la unidad cartográfica EJmo-5, y se clasifica como Hapludol típico, la secuencia de horizontes es similar al anterior, aunque el horizonte BC es de textura franca. El horizonte Ck se encuentra a los 70 cm. El ensayo también está ubicado en una posición de media loma. Se manifiestan signos de erosión pasada. El suelo también fue clasificado dentro del grupo hidrológico B.

II.1.2. Clima:

Las precipitaciones son de régimen monzónico, es decir concentradas en el semestre cálido del año, oscilan en 750 mm/año como valor promedio histórico (entre 1961 y 1990). La ETR es de aproximadamente 760 mm/año y la ETP de 1040 mm/año. (Agencia Córdoba Ambiente e INTA, 2006).

Las características climáticas, descriptas anteriormente, son válidas para los tres establecimientos en estudio.

II.2 Híbrido y fechas de siembra:

En los tres sitios de estudio se sembró el híbrido DK70-10 mgr2 y las fechas de siembra fueron el 20 de octubre en A. Gigena norte, el 15 de octubre en A. Gigena oeste y el 4 de diciembre en La Aguada. La densidad de siembra fue de 3,2 semillas por metro lineal de surco. Se fertilizó a la siembra con 80 kg de Map azufrado en la línea y 140 kg de urea al costado. En el barbecho se aplicaron 1,8 lts/ha de sulfosato y 200 cc/ha de dicamba. Durante el ciclo del cultivo se hizo un repaso con 1,5 kg de atrazina, 600 cc/ha de 2,4 D y 1,5 kg/ha de Roundup ultra max.

II.3. Diseño experimental:

Para la evaluación de los tratamientos experimentales propuestos se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

II.3.1. Tratamientos:

- **Tratamiento n° 1:** Cultivo sembrado a favor de la pendiente,
- **Tratamiento n° 2:** Cultivo en curvas de nivel en la posición alta del sistema terraza
- **Tratamiento n°3:** Cultivo en curvas de nivel en posición más baja del sistema terrazas (más cercana del canal de terraza que la ubicación anterior)
- **Tratamiento n°4:** Cultivo en el fondo o canal de la terraza de absorción.
- **Tratamiento n°5:** Cultivo en la cresta o lomo de la terraza de absorción

La ubicación de los bloques fue definida en 3 posiciones de la pendiente según se indica en la Figura 6, 7 y 8. Los datos de las variables medidas en cada tratamiento y repetición son promedios de 3 muestreos al azar. Los tratamientos fueron sometidos al análisis de la varianza para determinar la existencia de diferencias entre los mismos, con un nivel de confianza del 95%. Es decir, un valor de $p < 0,05$. Para ello, se utilizó el programa INFOSTAT (InfoStat 2010), previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza. Luego, se realizó una comparación de medias con el test DGC ($\alpha < 0,05$).

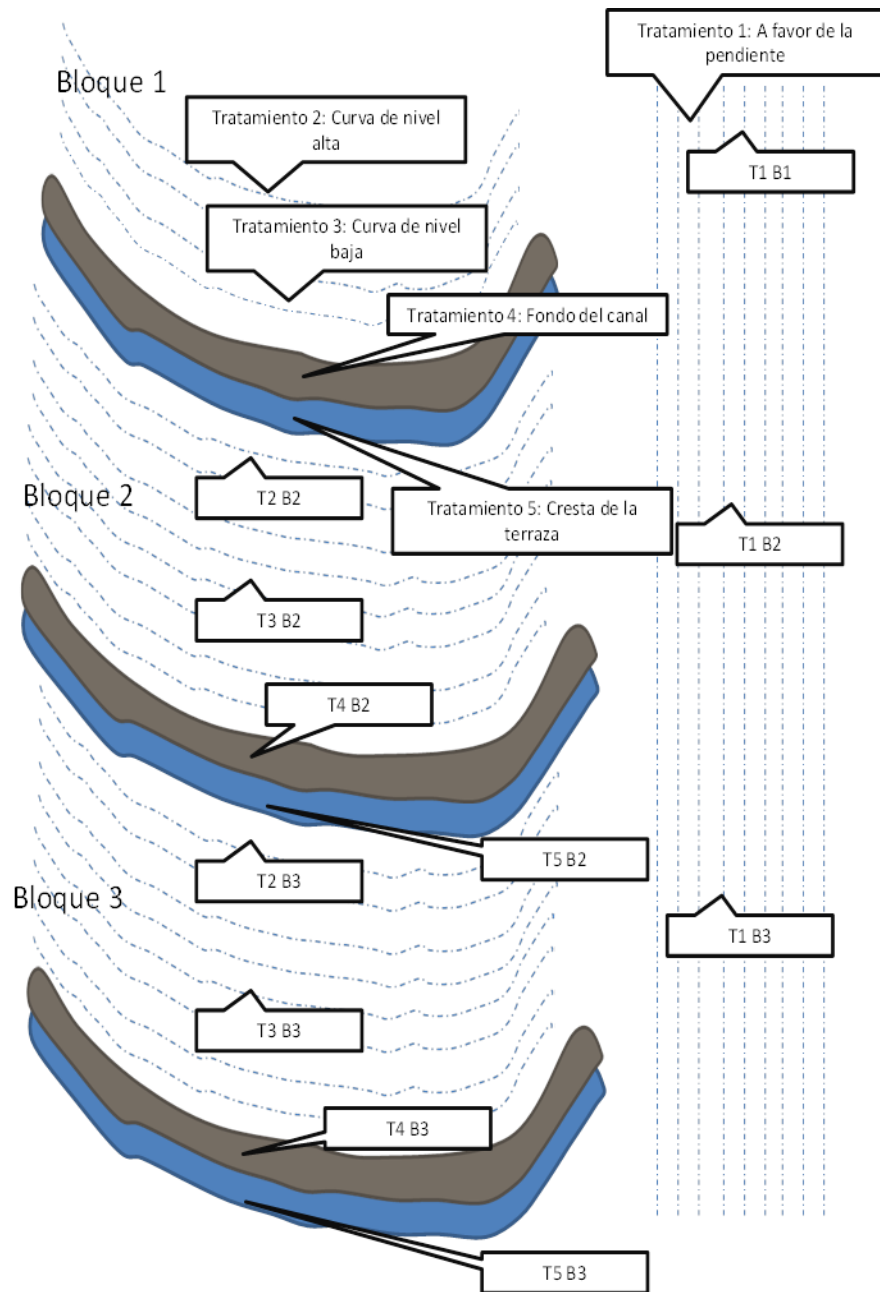


Figura 6: Diseño de muestreos, con ubicación de tratamientos y bloques. Las líneas punteadas corresponden a las líneas de siembra en curvas de nivel

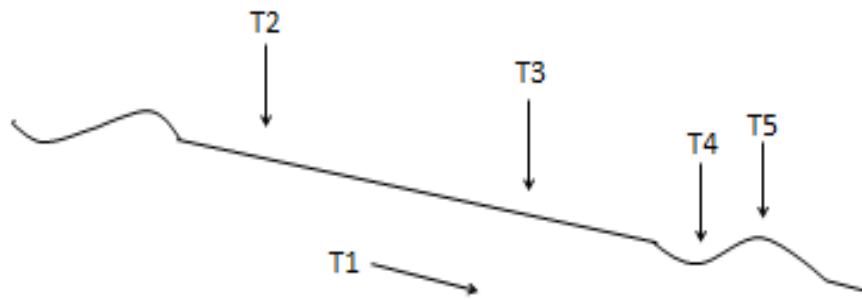


Figura 7. Corte transversal del sistema de terrazas de absorción y ubicación espacial relativa de los tratamientos.

Referencias: T1 A favor de la pendiente. T2 Curva a nivel posición alta. T3 Curva a nivel posición baja. T4 Canal de terraza. T5 Lomo de terraza.

La superficie que ocupan los tratamientos en la terraza varía según los establecimientos en estudio. Para el caso de La Aguada y Alcira Gigena hacia el Oeste, éstos ocupan un 40% de la curva en la posición alta, 40% de la curva en la posición baja, 10% en el canal y 10% en el lomo. Mientras que, en Alcira Gigena hacia el Norte, los porcentajes de superficie ocupada fueron de 41,5 % de la curva en la posición alta, 41,5% de la curva en la posición baja, y 0,083% canal, 0,083% lomo.

Estos valores se obtuvieron considerando que el intervalo horizontal entre terrazas es de 40 metros, ocupando 4 metros lineales los tratamientos en canal y lomo, mientras que la curva alta y baja ocupan 16 metros cada una para La Aguada y Alcira Gigena Oeste. Por su parte, en el establecimiento restante, los valores se calcularon teniendo en cuenta que el intervalo horizontal entre terrazas es de 60 metros. La curva en la posición alta y baja ocupa 25 metros cada una; mientras que el canal y el lomo de la terraza, 5 metros en ambas posiciones.

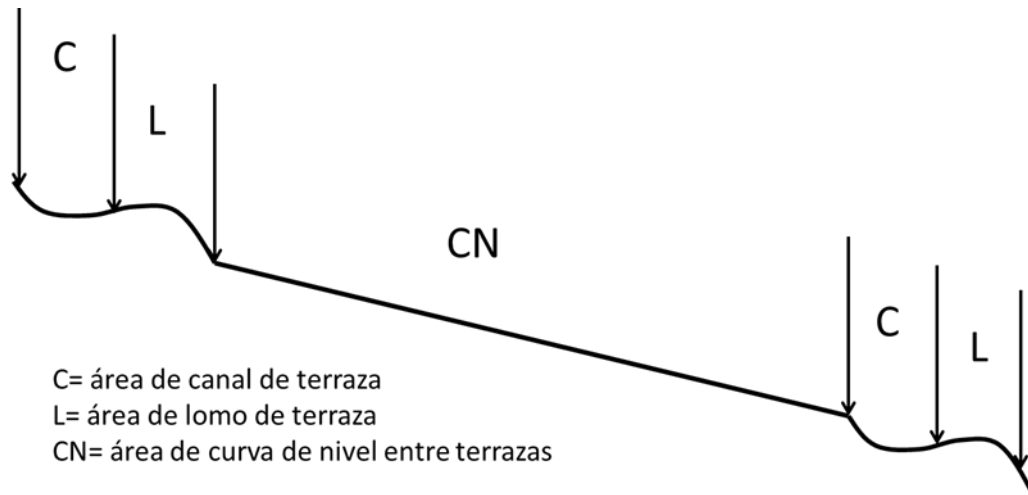


Figura 8. Esquema para el cálculo ponderado de rendimiento considerando los tres sectores en que se puede dividir el sistema de terrazas.

II.4. Determinaciones:

II.4.1. Esgurrimiento:

Por medio del método de la Curva Numero (CN), se determinó el volumen de escurrimiento en milímetros durante el ciclo del cultivo. Para su cálculo se usó el programa Excel con las precipitaciones ocurridas y un valor de CN asignado en función de las condiciones del sitio de estudio, como datos.

En cada uno de los establecimientos se asignó un valor de CN de 78 para el tratamiento a favor de la pendiente; mientras que para los demás tratamientos que conforman el sistema en terraza se asignó un valor de CN de 71. Esta diferencia se debe al mayor potencial de escurrimiento que presenta el cultivo sembrado a favor de la pendiente con respecto a la siembra en las terrazas.

Para el cálculo del volumen de escurrimiento en cada uno de los establecimientos en estudio, se consideró que una precipitación menor a 14,32 mm, para el tratamiento a favor de la pendiente, no genera escurrimiento (CN=78). Por ello, sólo se tomaron las precipitaciones mayores a ese valor umbral. Por otro lado, para los demás tratamientos que conforman la terraza se tomaron para el cálculo del escurrimiento las precipitaciones mayores a 20,75 mm (CN=71) por la misma razón mencionada anteriormente.

La fórmula para la estimación del volumen de escurrimiento Q, es la siguiente:

$$Q = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{(P - 0.2 \times S) + S}$$

donde:

Q = Volumen escurrido, en mm

P = Precipitación acumulada, en mm

S = Máxima retención potencial de agua por el terreno expresada en mm

La relación de S con la Curva Número (CN) es la siguiente:

$$S = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

II.4.2. Evapotranspiración del cultivo:

En cada tratamiento se determinó la cantidad de agua útil acumulada en el perfil al inicio y al final del ciclo del cultivo mediante muestreos de suelo hasta los 1,50 m de profundidad en las siguientes estratos: (0-20 cm) por lo general ubicado dentro del horizonte A; 20-40 cm ubicado en el horizonte B; 40-60 cm ubicado en el horizonte BC y más de +60 cm ubicado en el horizonte C_{ca}. Se registraron los pesos húmedos de cada muestra de suelo, luego se secaron en estufa y se obtuvieron los respectivos pesos secos. A partir de ambos datos se calculó la humedad gravimétrica.

Con los valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) (Cholaky, comunicación personal), se procedió a estimar el agua útil gravimétrica, que se transformó a unidades volumétricas al multiplicarlos por la densidad aparente (DAP).

$$\mathbf{AU_{grav} (\%) = H^{\circ} grav - PMP Grav}$$

donde **AU_{grav}** es el agua útil gravimétrica (%) y **PMP Grav** es el punto de marchitez permanente en unidades gravimétricas (%).

$$\mathbf{Mm \text{ de AU en el perfil} = \sum_{i=1}^m (\text{Agua útil volumétrica (\%)} / 10 * \text{espesor})_i}$$

Donde AU es agua útil, *i* es cada capa del suelo y **m** es el número de capas.

Con los datos obtenidos al inicio y final del ciclo del cultivo, se procedió a calcular el diferencial de almacenamiento de agua en el perfil.

La densidad aparente se obtuvo mediante el método del cilindro. Para el cálculo se consideró el peso total de la muestra de suelo (Peso de suelo húmedo + bolsa) de cada profundidad analizada en cada tratamiento. Se descontó el peso de la bolsa y se obtuvo el peso de suelo húmedo total. Luego, se procedió a descontar la humedad gravimétrica para obtener

el peso de suelo seco total. Con los datos de superficie y largo de la muestra de suelo en el cilindro del barreno, se calculó el volumen correspondiente para finalmente obtener la DAP de cada profundidad analizada en cada tratamiento. Se sacó un promedio de la DAP obtenida a cada profundidad para obtener la DAP promedio de cada tratamiento en el bloque.

$$\text{DAP (gr/cm}^3\text{)} = \text{Peso de suelo seco total (gr)/volumen de suelo (cm}^3\text{)}$$

Con el método de la Curva Numero (USDA, 1968) se estimó el volumen de escurrimiento en mm durante las precipitaciones. El método se basa en determinar los grupos hidrológicos de suelos que componen la cuenca, el uso de los mismos y la práctica conservacionista aplicada. Para definir al grupo hidrológico (A, B, C o D) se consideran las condiciones de superficie y las de los horizontes, definiendo así el grado de infiltración y de transmisión. El uso del suelo se refiere al estado y tipo de cobertura que tiene la cuenca. Posteriormente se define la práctica conservacionista aplicada, pudiendo tratarse de cultivos en contorno, en surcos rectos o en terrazas. A partir de estos tres elementos se obtiene un valor de Curva Número que indicará el potencial de escurrimiento del complejo según el criterio: a mayor curva número, mayor escurrimiento superficial.

Por último, con los datos de las precipitaciones ocurridas, la diferencia de agua almacenada en el perfil (entre inicio y final del ciclo) y los milímetros de agua escurridos durante el ciclo del cultivo, se calculó la evapotranspiración del mismo con la siguiente formula:

$$\text{ETC (mm)} = \text{PPT} - (\text{Hf} - \text{Hi}) - \text{E}$$

Donde **ETC** es la evapotranspiración del cultivo, **PPT** las precipitaciones, **Hf** la humedad final en el suelo, **Hi** la humedad inicial en el suelo y **E** el escurrimiento.

II.4.3. Rendimiento en granos:

El rendimiento en grano del cultivo de maíz se determinó a través de la recolección manual de espigas del cultivo contenidas en una distancia lineal de 1,92 m sobre de surco, la cual equivale a 1 m², ya que el cultivo fue sembrado a 52 cm de distancia entre hileras. En cada bloque se tomaron tres submuestras por tratamiento. Éstas fueron procesadas con una trilladora estática. Posteriormente, con un humedímetro, se midió el contenido de humedad del grano, se pesaron dichas muestras y se obtuvo un peso total en g/m². Dicho peso fue corregido por el porcentaje de humedad del grano obteniéndose así el peso seco en g/m², los cuales fueron transformados a Kg/ha para luego estimar la eficiencia en el uso del agua (EUA).

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de la varianza para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. El programa utilizado es el INFOSTAT (InfoStat 2010).

II.4.4. Eficiencia en el uso del agua:

Los valores de EUA fueron obtenidos mediante la fórmula que relaciona el rendimiento en grano y la evapotranspiración del cultivo de maíz.

$$\text{EUA (Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}) = \text{RTO (Kg/ha)} / \text{ETP (mm)}$$

donde **EUA** es la eficiencia en el uso del agua, **RTO** es el rendimiento en grano de maíz y **ETP** la evapotranspiración del cultivo en milímetros.

II.5. Interpretación de los resultados:

II.5.1. Rendimientos:

Con los datos de rendimiento en grano obtenidos y por medio del programa INFOSTAT, se realizaron dos análisis estadísticos en cada establecimiento para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los diferentes estudios. El primero se basó en realizar la comparación entre los bloques y tratamientos, mientras que en el segundo se compararon dos situaciones:

1. Cultivo a favor de la pendiente, sin terrazas.
2. Cultivo en contorno en el sistema de terrazas

Para este tratamiento se pondera el rendimiento por la superficie ocupada en la unidad de superficie (ha) por el canal, lomo, posición alta y baja de los espacios entre terrazas. Los valores obtenidos durante el muestreo fueron expresados primariamente en gr/m², y luego llevados a Kg/ha para facilitar el análisis de los resultados.

La cosecha de las muestras fue realizada en cada uno de los establecimientos en estudio y los resultados se presentan para cada uno de ellos, debido a que el análisis y la comparación que se realizó es dentro de cada establecimiento y no entre estos.

El rendimiento promedio de los tratamientos ubicados en el sistema terraza fue ponderado por la superficie que ocupan en la misma, y de esta manera se obtuvo el rendimiento ponderado para llevar a cabo el segundo análisis.

Con estos análisis se podrá evaluar el efecto sólo y combinado de la aplicación de las técnicas de manejo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1. Condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo:

III.1.1. Precipitaciones:

En las Figuras 9, 10 y 11 se muestran los datos de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo en cada uno de los establecimientos en estudio, comparadas con las lluvias normales históricas de cada región durante la estación de crecimiento del cultivo, ambas expresadas en mm (Ver anexo 1).

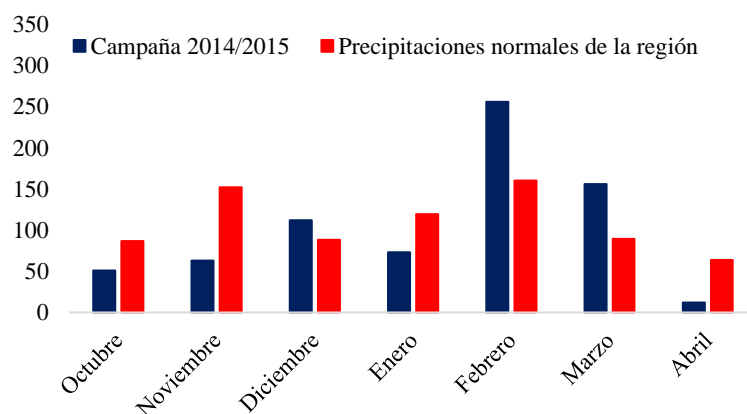


Figura 9. Precipitaciones normales de la región y de la campaña 2014-15 para el establecimiento ubicado al Norte de Alcira Gigena.

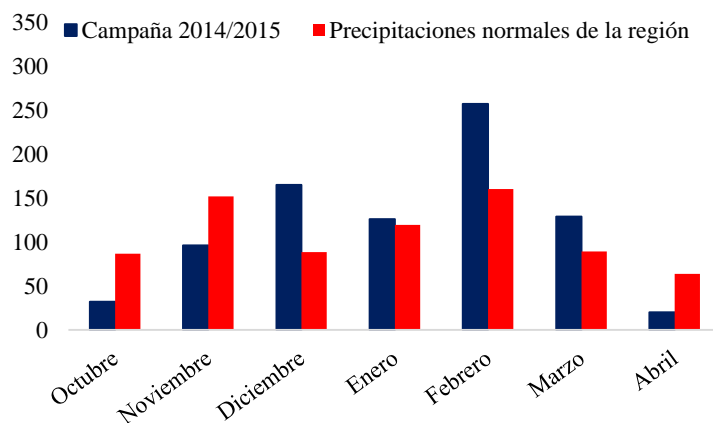


Figura 10. Precipitaciones normales de la región y de la campaña 2014-15 para el establecimiento ubicado al Oeste de Alcira Gigena.

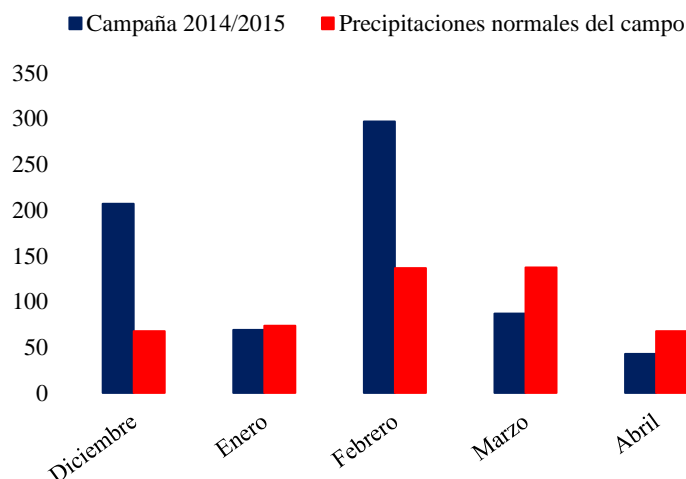


Figura 11. Precipitaciones normales del campo y de la campaña 2014-15 para el establecimiento ubicado en las cercanías de La Aguada

Al analizar los gráficos de lluvias registradas en los establecimientos estudiados, se puede observar que en la zona de Alcira Gigena hacia el norte, las precipitaciones ocurridas durante la campaña fueron de 723 mm, menores en 37 mm a las lluvias promedio de la región en dicha zona (760 mm). Durante la campaña las lluvias se concentraron principalmente en los meses de diciembre, febrero y marzo, cuyos valores superaron a los normales (Figura 9), y lo contrario se produjo en los restantes meses de la campaña 2014/15.

En lo que respecta al establecimiento ubicado hacia el Oeste de Alcira Gigena, las precipitaciones ocurridas en la campaña totalizaron 825 mm, superando al promedio regional en 65 mm. Las mismas se concentraron en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, siendo similares en su distribución a la ocurrida al norte de Alcira Gigena debido,

probablemente, a la cercanía entre ambas zonas. En los demás meses las lluvias ocurridas fueron menores a la media regional.

En el sitio ubicado en cercanía de La Aguada, el ciclo del cultivo fue más corto debido a que se sembró más tarde y por ello las precipitaciones ocurridas en la campaña fueron menores con respecto a los dos sitios anteriores (703 mm) con una media del campo de 483mm. Es decir, que las precipitaciones de la campaña presentaron un excedente hídrico de 220 mm respecto a la media de dicho establecimiento. Las lluvias se concentraron principalmente en los meses de diciembre y febrero cuando fueron superiores a los valores medios normales, similares en el mes de enero, y menores en marzo y abril.

El maíz requiere entre 500 y 600 mm de agua durante su ciclo. El máximo consumo diario se produce en el período que va desde V8/V9, cuando comienza a formar la espiga y se define el rendimiento máximo del cultivo, hasta fines del llenado del grano, etapa durante la cual requiere unos 300 mm (Viarural, 2017).

En base a esto, la campaña 2014/15 se puede considerar como húmeda, especialmente en la zona al oeste de Alcira Gigena y en la cercanía de La Aguada, lo cual influiría en el rendimiento, especialmente las lluvias ocurridas en el periodo crítico de su definición (V13-R3). Las precipitaciones se presentaron con elevada intensidad y con ocurrencia de granizo el 7 y 20 de diciembre en Alcira Gigena. La primera granizada fue de menor incidencia, mientras que la segunda fue más abundante y llegó a cubrir el suelo. Ambas ocurrieron durante la floración del cultivo de maíz, lo que ocasionó daño en los órganos de la planta pudiendo afectar el rendimiento. En la Aguada no hubo registro de granizo. No obstante, el cultivo no manifestó síntomas de déficit hídrico durante su ciclo.

III.1.2. Ecurrimiento:

En el establecimiento que se encuentra próximo a La Aguada, el volumen de escurrimiento en mm fue de 106 mm en el tratamiento a favor de la pendiente, mientras que en los demás tratamientos que conforman el sistema de terrazas escurrieron 57mm (Ver anexo 2).

Por otro lado, en lo que respecta a los dos establecimientos ubicados en la cercanía de Alcira Gigena, hacia el oeste se estimó un volumen de escurrimiento de 116 mm para el tratamiento a favor de la pendiente y de 61 mm para los demás tratamientos que conforman el sistema de terraza. Por su parte en el establecimiento ubicado hacia el norte de dicha localidad, se estimó un volumen escurrido de 85 mm para el tratamiento a favor de la pendiente y de 42 mm para los demás tratamientos (Ver anexo 2).

III.2. Evapotranspiración del cultivo:

Los resultados obtenidos en cada zona y para los tratamientos evaluados, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de evapotranspiración del cultivo promedio en mm .de los diferentes bloques y tratamientos para cada uno de los establecimientos en estudio.

Tratamiento	Gigena Norte. ETC (mm)	Gigena Oeste. ETC (mm)	La Aguada. ETC (mm)
T1:A favor de la pendiente	646	760	692
T2:Curva en la posición alta	705	791	743
T3:Curva en la posición baja	727	762	725
T4:Canal de la terraza	740	853	731
T5:Lomo de la terraza	683	696	728

Doorenbos y Pruitt, (1977) mencionan que el maíz evapotranspira entre 400 y 700 mm en su ciclo, según condiciones ecológicas. Al observar la tabla anterior, se aprecia que en la mayoría de los tratamientos, salvo excepciones, supera ligeramente a los valores de evapotranspiración encontrados por dichos autores, pero se puede observar que el tratamiento a favor de la pendiente presenta un valor ligeramente menor de evapotranspiración en dos de los establecimientos en estudio (Gigena Norte y La Aguada), debido a su mayor potencial de escurrimiento y menor acumulación de agua útil en el perfil potencialmente evapotranspirable, a diferencia de Gigena Oeste donde el tratamiento con menor evapotranspiración es el ubicado en el lomo de la terraza, lo cual podría deberse también a una menor acumulación de agua útil como consecuencia del mayor escurrimiento de agua en este punto del sistema terraza. El tratamiento con mayor evapotranspiración es el canal de la terraza, debido a su menor potencial de escurrimiento y mayor almacenamiento de agua útil en el suelo, con la salvedad de que en La Aguada, éste punto, no fue el mayor, si no el segundo detrás de la curva en la posición alta. En termino generales los valores son muy similares en los diferentes tratamientos y, en los diferentes establecimientos estas similitudes pueden atribuirse a las precipitaciones abundantes y con los mismos valores, ya que los tratamientos se encuentran en el mismo sitio de muestro en cada establecimiento en estudio.

III.3 Rendimiento en grano:

III.3.1. Establecimiento A. Gigena Norte:

Tabla 2. Rendimientos promedios en granos (Kg/ha) obtenidos en el establecimiento ubicado en Alcira Gigena hacia el Norte

Tratamientos	Rendimiento promedio entre bloques y tratamientos (Kg/ ha).
A favor de la pendiente	8590 A
Curva en la posición alta	6581 B
Curva en la posición baja	7899 A
Canal de la terraza	6528 B
Lomo de la terraza	8979 A

Letras diferentes en la misma columna, significan diferencias estadísticamente significativas al $p < 0,05$. (5%)

En la tabla 2 los resultados obtenidos para este establecimiento muestran que existen diferencias significativas entre tratamientos. Los de mayores rendimientos fueron el lomo de la terraza, a favor de la pendiente y la curva en la posición baja. Por otro lado, los dos tratamientos con menor rendimiento fueron la curva en la posición alta y el canal de la terraza. Además, se puede observar que el mayor rendimiento se obtuvo en el lomo de la terraza, siendo este superior en 389 kg/ha con respecto a favor de la pendiente; 1081 kg/ha a la curva en la posición baja; 2399 kg/ha a la curva en la posición alta y en 2451 kg/ha al canal de la terraza.

El rendimiento promedio de la región en la campaña 2014/2015 fue de 7280kg/ha (Bolsa de Cereales, 2015). Para este establecimiento los rendimientos en la mayoría de los tratamientos fueron ligeramente superiores al promedio regional, con excepción de la curva en la posición alta y el canal de la terraza donde estos fueron menores a dicha media regional.

El mayor rendimiento en el lomo de la terraza con respecto a los demás tratamientos puede deberse a un posible retoque de las terrazas en años anteriores, utilizando suelo contiguo ubicado en el canal para el mismo, lo que brindaría un efecto adicional, produciendo un engrosamiento del horizonte A, lo cual podría haber generado un aporte de nutrientes y de agua por la retención que brinda el canal de la terraza en el lomo.

Por otro lado, en el sector de canal de las terrazas ese retoque estaría desplazando parte del horizonte superficial en el mismo lo que disminuye su disponibilidad de nutrientes, lo cual se ve reflejado en su menor rendimiento con respecto a los demás tratamientos.

III.3.2. Establecimiento A Gigena Oeste:

Tabla 3. Rendimientos promedio en granos (Kg/ha) obtenidos en el establecimiento A Gigena Oeste

Tratamientos	Rendimiento promedio entre bloques y tratamientos (Kg/ ha).
T1:A favor de la pendiente	5312 A
T2:Curva en la posición alta	5067 A
T3:Curva en la posición baja	4420 A
T4:Canal de la terraza	4316 A
T5:Lomo de la terraza	5243 A

Letras diferentes en la misma columna, significan diferencias estadísticamente significativas al $p < 0,05$. (5%)

Para este establecimiento los resultados del análisis estadístico determinaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. La tabla 3 muestra que el mayor rendimiento en granos en kg/ ha se obtuvo en el tratamiento a favor de la pendiente superando en 69 kg/ha al lomo de la terraza; 245 kg/ha a la curva en la posición alta; 892 kg/ha a la curva en la posición baja y 996 kg/ha al canal de la terraza siendo este último el tratamiento que presenta menor rendimiento. Si bien no existen diferencias estadísticamente significativas en este caso, éstas pueden atribuirse al error de muestreo.

III.3.3. Establecimiento en La Aguada:

Tabla 4. Rendimientos promedio en grano (Kg/ha) obtenidos en el establecimiento ubicado en las cercanías de La Aguada.

Tratamientos	Rendimiento promedio entre bloques y tratamientos (Kg/ ha).
T1:A favor de la pendiente	6656 B
T2:Curva en la posición alta	6427 B
T3:Curva en la posición baja	6239 B
T3:Canal de la terraza	4509 C
T4:Lomo de la terraza	8501 A

Letras diferentes en la misma columna, significan diferencias estadísticamente significativas al $p < 0,05$. (5%).

Al analizar los resultados se puede observar que el mayor rendimiento se obtuvo en el lomo de la terraza el cual superó ampliamente a los demás tratamientos en: 1845 kg/ha a favor de la pendiente; 2074 kg/ha a la curva en la posición alta; 2262 kg/ha a la curva en la posición baja y 3992 kg/ha al canal de la terraza. Además, no se encontraron diferencias significativas de

rendimientos entre los tratamientos a favor de la pendiente, curva en la posición alta y baja, por otro lado el menor rendimiento se obtuvo en el canal de la terraza.

El rendimiento obtenido en este campo está por debajo de la media regional con excepción del tratamiento ubicado en el lomo de la terraza.

III.3.4 Rendimiento promedio ponderado en la terraza vs en el tratamiento a favor de la pendiente y su correspondiente análisis estadístico:

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Rendimiento medio (Kg/ha) a favor de la pendiente vs el rendimiento medio ponderado (Kg/ha) en la terraza y análisis estadístico de los establecimientos estudiados.

Tratamiento	Gigena Norte Rto. Medio ponderado (Kg/ha).	Gigena Oeste Rto. Medio ponderado (Kg/ha).	La Aguada Rto. Medio ponderado (Kg/ha).
A favor de la pendiente	8590 A	5312 A	6656 A
Sistema Terraza	7296 A	4751 A	6367 B

Nota: Las diferencias se leen dentro de la misma columna

Letras diferentes en la misma columna, significan diferencias estadísticamente significativas al $p < 0,05$. (5%).

Al analizar los resultados obtenidos en la tabla 5, se puede observar que salvo en el establecimiento cercano a La Aguada, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a favor de la pendiente y el sistema terraza. En todos los casos el rendimiento en grano fue mayor a favor de la pendiente superando al sistema terraza en 1294 kg/ha en Alcira Gigena Norte; 561 kg/ha en Alcira Gigena Oeste; 289 kg/ha en La Aguada.

Estos resultados difieren a los encontrados por Giacardi (2015) que indica aumentos del rendimiento en el cultivo de maíz con la aplicación de estas técnicas de manejo en comparación con la siembra a favor de la pendiente. Las diferencias encontradas en este trabajo se pueden conjeturar por un lado debido a que las precipitaciones en el ciclo productivo evaluado fueron lo suficientemente abundantes lo que no permitió expresar la ventaja agronómica de estas técnicas de manejo en la captación y almacenaje de agua sobre el rendimiento de maíz y por otro a errores de muestreo. No obstante los resultados obtenidos no son empíricamente contundentes para convalidar o rechazar la hipótesis de partida.

III.4. Eficiencia en el uso del agua:

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla.6. Eficiencia en el uso del agua promedio (Kg/ha/mm) para los tres establecimientos estudiados.

Tratamiento	Gigena Norte. EUA (Kg/ha/mm)	Gigena Oeste. EUA (Kg/ha/mm)	La Aguada. EUA (Kg/ha/mm)
T1:A favor de la pendiente	13	7	10
T2:Curva en la posición alta	9	6	9
T3:Curva en la posición baja	11	6	9
T4:Canal de la terraza	9	5	6
T5:Lomo de la terraza	13	8	12

Rivetti (2006) encontró una eficiencia en el uso del agua promedio de 27 kg/ha/mm para tratamientos sometidos a diferentes láminas de riego en Rio Cuarto. (Andrade y Cirilo, 1996) publican valores de 18 kg/ha/mm para maíz en periodo crítico. Los valores normales de eficiencia en el uso del agua en maíz se encuentran entre los 12 y 20 kg/ha/mm(Kang y Zhang , 2000, citados por Rivetti, 2006). En “Pozo del Carril”, ubicado en el paraje de La Aguada, Pérez (2009), encontró valores de eficiencia en el uso de agua entre 4,48 kg/ha/mm y 13, 15 kg/ha/mm para dos condiciones: fertilización y no fertilización respectivamente.

La EUA estimada en este trabajo en general los valores calculados son algo menor de lo indicado por los autores mencionados, con valores máximos de 13 kg/ha/mm y mínimos de 5 kg/ha/mm. En los 3 casos la menor EUA se encontró en el canal de la terraza, lo cual es coincidente con el menor rendimiento obtenido en este tratamiento. No obstante la alta variación de resultados obtenidos resultan poco claros para conclusiones relevantes.

IV.CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en relación a la eficiencia de las prácticas de conservación de suelo y agua sobre el rendimiento de maíz y la EUA no son empíricamente claros como para convalidar o rechazar las hipótesis de partida.
- Las precipitaciones registradas en la campaña 2014/2015 durante el ciclo del cultivo de maíz superaron a las lluvias de la media regional en Alcira Gigena oeste y en la Aguada. En Alcira Gigena norte fueron inferiores
- En Alcira Gigena Norte el mayor rendimiento -8590 kg/ha se obtuvo en el lomo de la terraza, encontrándose diferencias estadísticamente significativas con el resto de tratamientos.
- En Alcira Gigena Oeste, el mayor rendimiento -5312 kg/ha se obtuvo en el tratamiento a favor de la pendiente. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.
- En La Aguada el mayor rendimiento -8501 kg/ha se obtuvo en el lomo de la terraza superando significativamente a los demás tratamientos.
- En los tres establecimientos estudiados el menor rendimiento se encontró en el canal de la terraza.
- El rendimiento en sitios con siembra a favor de la pendiente y sin terrazas resultó mayor que el del conjunto del sistema terrazas en los experimentos de Alcira Gigena mientras que en la Aguada no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Esta situación no debe ser considerada concluyente para este trabajo por lo que requiere de nuevas experiencias para validarlo o rechazarlo.
- La EUA estimada en los diferentes sitios experimentales es algo menor a los valores promedios indicado por la bibliografía consultada.

V.BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE, INTA. 2006. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba. Los Suelos.

AGROLLUVIA.2009.Cultivo en contorno, una práctica para la conservación del suelo y del agua. En: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/05/Informes-El-cultivo-en-contorno-una-pr%C3%A1ctica-para-la-conservaci%C3%B3n-del-suelo-y-del-agua.pdf>.

Consultado: 14/03/2015.

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

BARRACO, M.; C. SCIANCA, C. ÁLVAREZ, M. DÍAZ-ZORITA. 2008. Profundidad mínima de muestreo para estimar la disponibilidad de agua en hapludoles de la pampa arenosa. **XXI Congreso Argentino de la ciencia de suelo**. EEA INTA General Villegas, Pcia. de Bs As

BECKER, A., M, CANTU., H, SCHIAVO. M, GRUMELLI.2006. Erosión hídrica laminar de una pendiente representativa del suroeste de Córdoba, Argentina. Departamento de Geología Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. Presentado al **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**, Mar del Plata (Buenos Aires), Argentina.

BOLSA DE CEREALES. 2015. Informe de gira agrícola N° 67 Bolsa de cereales estimaciones agrícolas en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/informedegiran%C2%BA67surdecordoba%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/informedegiran%C2%BA67surdecordoba%20(1).pdf).

Consultado: 25/09/2017.

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

CANTERO, A; J, CISNEROS; C, CHOLAKY; J, GONZALES; M, REYNERO. 2004: Manejo de la condición física de los suelos: manejo del agua; Documento de apoyo didáctico del curso Uso y Manejo de Suelos. FAyV UNRC.

CASAS, R; R GIL; C IRURTIA; R MICHELENA; R MON; E NOAILLES BOSCH; A DA VEIGA & R DI GIACOMO. 2008. El suelo y su conservación. Edición INTA. Castelar, Buenos Aires, Argentina. p 12-16.

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.

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.

DARWICH, N.2006. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. 3ª Edición. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Pág. 54-55.

DOORENBOS, J. Y PRUITT, W. O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje N° 24. Roma. 194 p.

FREEDMAN, V.L; LOPEZ, V.L; HERNANDEZ, M. (1998). Parameter identifiability for catchment-scale erosion modeling: a comparison of optimization algorithms. *Journal of Hydrology* 207:83-97.

GABIOUD, E.A.; J.D, OSZUT, ; M.E, ZACCAGNINI; M.G, WILSON; M.C, SASAL; N, CALAMARI; G, GAVIER.2014. Terrazas reservorio. Propuesta de sistematización de tierras para la conservación de servicios ecosistémicos. **XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná-Entre Ríos, Argentina.p:4.

GIACARDI, M. 2015. *Efecto combinado de curvas de nivel y terrazas sobre la producción de soja y maíz*. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

GIL, H.A.; DE PRADA, J.D.; HERNANDEZ, J.; PEREYRA, C. y A.R. ANGELI. 2008. Análisis de la Percepción del Productor sobre la Problemática Ambiental. En: de Prada J.D. y J. Penna (Eds.) Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. N° 08. IES INTA. 94 pp.

GOOGLE EARTH.2017.

GORGAS, J y J. TASSILE (Comp.) 2003. Los suelos de la Provincia de Córdoba. INTA-Agencia Córdoba D.A.CyT.S.E.M. 567 pags.

INFOSTAT. 2010. InfoStat software estadístico. En: <http://www.infostat.com.ar/>

ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2018. Bases ambientales para el ordenamiento territorial del espacio rural de la provincia de Córdoba. En: <http://www.ordenamientoterritorialcba.com/web3>

Consultado: 2/03/2018

PEREZ, N. 2009. Efecto de la fertilización nitrogenada bajo siembra directa sobre la eficiencia en el uso del agua, producción de materia seca y rendimiento de maíz. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina 30 p.

RIVETTI, A. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

SADRAS V. y A. CALVIÑO. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower, and wheat. *Agronomy Journal* 93: 577-583.

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.

SONA, F. 2016. *Efecto de las técnicas de manejo del relieve sobre el almacenaje de agua y el rendimiento en soja, en comparación con la siembra a favor de la pendiente*. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

STEVENS CJ; JN QUINTON; AP BAILEY; C DEASY; M SILGRAM & DR JACKSON. 2009 The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss. *Soil & Till Res.* 106:145–151.

USDA. 1968. A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watershed. Soil Conservation Service.

VIARURAL. 2017. Manual técnico del maíz. Agua y Riego En: <https://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualmaiz/manualmaizcargill44.htm>. Consultado: 1/10/2017.

VI. ANEXOS

ANEXO 1: Precipitaciones mensuales

Establecimiento ubicado hacia el norte de Alcira Gigena

Mes	Precipitaciones mensuales (mm).	Precipitaciones promedio de la región del Alcira Gigena en (mm).
Octubre 2014	51	87
Noviembre 2014	63	152
Diciembre 2014	112	88
Enero 2015	73	120
Febrero 2015	256	160
Marzo 2015	156	89
Abril 2015	12	64

Establecimiento ubicado hacia el oeste de Alcira Gigena

Mes	Precipitaciones mensuales (mm).	Precipitaciones promedio de la región del Alcira Gigena en (mm).
Octubre 2014	32	87
Noviembre 2014	96	152
Diciembre 2014	165	88
Enero 2015	126	120
Febrero 2015	257	160
Marzo 2015	129	89
Abril 2015	20	64

Establecimiento cercano a La Aguada

Mes	Precipitaciones mensuales (mm).	Precipitaciones promedio del establecimiento (mm).
Diciembre 2014	207	68
Enero 2015	69	74
Febrero 2015	297	137
Marzo 2015	87	137
Abril 2015	43	68

El total de milímetros caídos durante la campaña 2014/2015 fueron de 723mm en Alcira Gigena hacia el Norte, 825mm hacia el Oeste y 703mm en La Aguada. La media regional en

Alcira Gigena es de 760 mm y en La Aguada la media del establecimiento es de 483mm, ambas para el ciclo del cultivo.

ANEXO 2: Volumen de escurrimiento.

Mes	Alcira Gigena Norte Q (mm).		Alcira Gigena Oeste Q (mm).		La Aguada Q (mm).	
	Terrazas	Pendiente	Terrazas	Pendiente	Terrazas	Pendiente
Octubre	4	9	0	1	0	0
Noviembre	0	1	3	7	0	0
Diciembre	3	8	4	13	20	37
Enero	1	4	12	23	1	3
Febrero	26	46	28	49	33	57
Marzo	8	18	14	24	4	8
Abril	0	0	0	0	0	0

El Volumen de escurrimiento en Alcira Gigena hacia el Norte es de 85mm a favor de la pendiente, 42 mm en el sistema terrazas; En Alcira Gigena hacia el Oeste es de 116 mm a favor de la pendiente, 61 mm en el sistema terrazas; Y en La Aguada es de 106 mm a favor de la pendiente y 57 mm en el sistema terrazas.

ANEXO 3: Análisis de la Varianza en Alcira Gigena hacia el Norte

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RENDIMIENTO PROM	15	0,84	0,72	8,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15971477,35	6	2661912,89	6,93	0,0077
Bloque	691544,40	2	345772,20	0,90	0,4440
TRATAMIENTO	15279932,95	4	3819983,24	9,95	0,0034
Error	3072865,89	8	384108,24		
Total	19044343,24	14			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1234,8413

Error: 384108,2359 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Lomo de la Terraza	8979,48	3	357,82	A
A favor de la pendiente	8590,26	3	357,82	A
Curva en la posición baja	7898,56	3	357,82	A
Curva en la posición alta	6580,87	3	357,82	B
Canal de la Terraza	6528,25	3	357,82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 4: Supuestos del ANOVA en Alcira Gigena hacia el Norte.
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO RENDIMIENTO PROM	15	0,00	468,50	0,93	0,4182

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS RENDIMIENTO PROM	15	0,49	0,29	59,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	483849,15	4	120962,29	2,42	0,1168
TRATAMIENTO	483849,15	4	120962,29	2,42	0,1168
Error	499074,77	10	49907,48		
Total	982923,92	14			

ANEXO 5: Análisis de la varianza en Alcira Gigena hacia el Oeste.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento promedio (kg/h..)	15	0,52	0,17	11,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2680684,31	6	446780,72	1,46	0,3012
Bloque	32223,57	2	16111,78	0,05	0,9489
Tratamiento	2648460,74	4	662115,18	2,17	0,1632
Error	2442243,40	8	305280,42		
Total	5122927,71	14			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1100,8644

Error: 305280,4249 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
A favor de la pendiente	5312,18	3	319,00
Lomo de la Terraza	5243,28	3	319,00
Curva en la posición alta	5066,78	3	319,00
Curva en la posición baja	4420,43	3	319,00
Canal de la Terraza	4315,79	3	319,00

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 6: Supuestos del ANOVA en Alcira Gigena hacia el Oeste

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Rendimiento promedio ..	15	0,00	417,67	0,94	0,5553

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Rendimiento promedio ..	15	0,35	0,09	55,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	205345,21	4	51336,30	1,34	0,3203
Tratamiento	205345,21	4	51336,30	1,34	0,3203
Error	382472,59	10	38247,26		
Total	587817,80	14			

ANEXO 7: Análisis de la varianza en La Aguada

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento Promedio (kg/h..)	15	0,95	0,91	6,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24644046,39	6	4107341,06	23,58	0,0001
Bloque	465382,37	2	232691,19	1,34	0,3158
Tratamiento	24178664,02	4	6044666,00	34,70	<0,0001
Error	1393394,03	8	174174,25		
Total	26037440,42	14			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=831,5269

Error: 174174,2539 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Lomo de la Terraza	8501,15	3	240,95	A
A favor de la pendiente	6656,10	3	240,95	B
Curva en la posición alta	6426,95	3	240,95	B
Curva en la posición baja	6238,75	3	240,95	B
Canal de la Terraza	4509,36	3	240,95	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 8: Supuestos del ANOVA en la Aguada
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Rendimiento Promedio ..	15	0,00	315,48	0,98	0,9460

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Rendimiento Promedio ..	15	0,61	0,45	64,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	351484,30	4	87871,07	3,85	0,0382
Tratamiento	351484,30	4	87871,07	3,85	0,0382
Error	228370,47	10	22837,05		
Total	579854,76	14			

ANEXO 9: Análisis de la Varianza entre el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el Norte.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento medio ponderad..	6	0,68	0,21	10,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3022258,50	3	1007419,50	1,44	0,4353
Bloque	509310,33	2	254655,17	0,36	0,7334
Tratamiento	2512948,17	1	2512948,17	3,59	0,1988
Error	1401294,33	2	700647,17		
Total	4423552,83	5			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1897,5496

Error: 700647,1667 gl: 2

Tratamiento	Medias	n	E.E.
A favor de la pendiente	8590,33	3	483,27
Sistema terraza	7296,00	3	483,27

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 10: Supuestos del ANOVA para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el norte

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Rendimiento me ponderado..	6	0,00	529,39	0,86	0,2305

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Rendimiento me ponderado..	6	0,00	0,00	76,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Tratamiento	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	396517,37	4	99129,34		
Total	396517,37	5			

ANEXO 11: Análisis de la varianza para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el Oeste.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento medio ponderad..	6	0,54	0,00	11,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	811293,00	3	270431,00	0,77	0,6078
bloque	338650,33	2	169325,17	0,48	0,6749
Tratamiento	472642,67	1	472642,67	1,34	0,3659
Error	702922,33	2	351461,17		
Total	1514215,33	5			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1343,9470

Error: 351461,1667 gl: 2

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
A favor de la pendiente	5312,33	3	342,28	A
Sistema Terraza	4751,00	3	342,28	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 12: Supuestos del ANOVA para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en Alcira Gigena hacia el Oeste.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Rendimiento me ponderado..	6	0,00	374,95	0,92	0,6025

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Rendimiento me ponderado..	6	0,00	0,00	45,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Tratamiento	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	86814,48	4	21703,62		
Total	86814,48	5			

ANEXO 13: Análisis de la varianza para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en La Aguada.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento medio ponderado..	6	1,00	0,99	0,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	488393,00	3	162797,67	186,66	0,0053
Bloque	363400,33	2	181700,17	208,33	0,0048
Tratamiento	124992,67	1	124992,67	143,31	0,0069
Error	1744,33	2	872,17		
Total	490137,33	5			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=66,9489

Error: 872,1667 gl: 2

Tratamiento	Medias	n	E.E.
A favor de la pendiente	6656,00	3	17,05 A
Sistema terraza	6367,33	3	17,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 14: Supuestos del ANOVA para el tratamiento a favor de la pendiente y el sistema terraza en La Aguada.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Rendimiento me ponderado..	6	0,00	18,68	0,93	0,6265

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Rendimiento me ponderado..	6	0,00	0,00	50,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Tratamiento	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Error	250,70	4	62,68		
Total	250,70	5			