

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONIMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final Presentado para Optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

“Producción de colza (*Brassica napus L.*) en secano y bajo
riego con aguas residuales urbanas”



Alumno: Picca, Diego Simón.
DNI: 29000692

Director: Ing. Agr. Crespi, Raúl Jesús
Co-director: Ing. Agr. Puiatti, Juan Mateo.

Río Cuarto – Córdoba.-
Abril /2007

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final:

**“Producción de colza (*Brassica napus L.*) en secano y
bajo riego con aguas residuales urbanas”**

Autor: Picca, Diego Simón.

Director: Crespi, Raúl Jesús.

Co-director: Puiatti, Juan Mateo.

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

Fecha de presentación: ____ / ____ / ____.

Aprobado por secretaría académica: ____ / ____ / ____.

Secretario Académico

A mis padres y hermanas, a Vanina, a mi ahijada Guadalupe, a mis amigos y amigas que siempre estuvieron allí cuando mas los necesité, a Raúl y a todos aquellos que de una u otra manera hicieron posible este trabajo.

INDICE:

Índice de Tablas y Figuras	IV
Resumen	V
Summary	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	4
1.2 Objetivos Generales	5
1.3 Objetivos Específicos	5
2. MATERIALES Y METODOS	6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1 Determinación de la curva de capacidad hídrica	19
3.2 Evolución del contenido hídrico del suelo de acuerdo a determinaciones directas	21
3.3 Evolución del contenido hídrico del suelo durante el desarrollo del cultivo según determinaciones de sensores de resistencia eléctrica	22
3.4 Comparación de la evolución de la lámina almacenada según las distintas metodologías de determinación	26
3.5 Evolución de la densidad aparente durante el desarrollo del cultivo	27
3.6 Determinación del Kc	28
3.7 Eficiencia en el uso del agua	29
3.8 Evaluación de los componentes de rendimiento	29
3.9 Análisis estadístico de los resultados de rendimiento	30
3.9.1 Análisis general de rendimiento	30
3.9.2 Análisis de los rendimientos para la condición hídrica de secano	32
3.9.3 Análisis de los rendimientos para la condición hídrica de agua residual	33
3.9.4 Análisis de los rendimientos para la condición hídrica de agua limpia	34
4. CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXO	39
PERSPECTIVAS FUTURAS	40

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS:

TABLA 1: Datos auxiliares para construir la curva de capacidad hídrica	6
TABLA 2: Determinaciones analíticas del agua limpia	9
TABLA 3: Determinaciones analíticas del agua residual urbana	10
TABLA 4: Tratamientos realizados según el arreglo factorial	12
TABLA 5: Labores realizadas sobre el cultivo	15
TABLA 6: Contenido hídrico a diferentes succiones mátricas	19
TABLA 7: Parámetros hídricos para los primeros 15 cm	20
TABLA 8: Registros de los muestreos directos de suelo	21
TABLA 9: Registros de los sensores de resistencia eléctrica	22
TABLA 10: Datos y resultados para determinar la curva de Kc	28
TABLA 11: Agua recibida por el cultivo	29
TABLA 12: Eficiencia en el uso del agua	29
TABLA 13: Resultados de la evaluación de plantas con respecto a componentes del rendimiento y altura de despegue	30
TABLA 14: Resultados obtenidos en la trilla	30
TABLA 15: Análisis de varianza para rendimiento	31
TABLA 16: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada condición hídrica	31
TABLA 17: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar	32
TABLA 18: Análisis de varianza de rendimiento para secano	32
TABLA 19: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar en secano	33
TABLA 20: Análisis de varianza de rendimiento para agua residual	33
TABLA 21: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar en agua residual	33
TABLA 22: Análisis de varianza de rendimiento para agua limpia	34
TABLA 23: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar en agua limpia	34
FIGURA 1: Ubicación geográfica del ensayo	6
FIGURA 2: Instrumentos para la obtención de muestras de suelo	7
FIGURA 3: Sistema de recolección de aguas residuales	8
FIGURA 4: Reactor biológico impermeabilizado con polietileno	8
FIGURA 5: Vista de las dos lagunas de maduración en serie	9
FIGURA 6: Centro de control del sistema de riego	11
FIGURA 7: Instalación del sistema de riego	11
FIGURA 8: Disposición del sistema de riego y de las parcelas	12
FIGURA 9: Lector digital de resistencia eléctrica y sensor de resistencia eléctrica	13
FIGURA 10: Disposición de sensores entre líneas de riego	14
FIGURA 11: Disposición esquemática de sensores en el perfil	14
FIGURA 12: Siembra de colza	16
FIGURA 13: Sistema de riego por aspersión	16
FIGURA 14: Corte de plantas en un m ² central	17
FIGURA 15: Trilla y limpieza del material cortado y seco	18
FIGURA 16: Curva de capacidad hídrica para los primeros 15 cm. de profundidad	20
FIGURA 17: Evolución de la humedad gravimétrica	22
FIGURA 18: Evolución de centibares durante el desarrollo del cultivo	25
FIGURA 19: Evolución de la lámina almacenada para los primeros 15 cm de suelo durante el desarrollo del cultivo	26
FIGURA 20: Análisis de regresión de los registros entre las dos metodologías de determinación de lámina almacenada en el suelo	27
FIGURA 21: Evolución de la densidad aparente del suelo durante el desarrollo del cultivo en los primeros 15 cm de profundidad	27
FIGURA 22: Curva de Kc correspondiente al ciclo del cultivo	28

RESUMEN

En el año 2004 se realizó una experiencia en el campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto a los fines de evaluar el comportamiento de un cultivo de colza bajo condiciones de secano y riego, utilizando las aguas residuales procedentes de las residencias estudiantiles universitarias y regeneradas mediante lodos activados y lagunas de maduración para su reincorporación al ciclo productivo. La experiencia se desarrolló sobre un suelo Hapludol típico empleando un diseño experimental de parcelas divididas, siendo el tratamiento principal la condición hídrica: secano (S); agua residual tratada (ART) y agua de perforación (AL) y el tratamiento secundario los cultivares: SW-Eclipse (E) y Master (M). Durante el ciclo del cultivo se siguió la evolución hídrica del perfil del suelo mediante dos metodologías diferentes: gravimétrica y potenciométrica, aplicando mediante riego subterráneo una lámina neta de 243 mm. Los rendimientos promedios fueron de 2313.7 kg ha⁻¹, 2258.8 kg ha⁻¹ y 1037 kg ha⁻¹ para ART, AL y S; demostrándose diferencias estadísticamente significativas para la condición de riego respecto a secano. Se determinaron los componentes del rendimiento y la eficiencia del uso del agua registrando valores de 0.87 kg m⁻³, 0.64 kg m⁻³ y 0.62 kg m⁻³ para S, ART y AL respectivamente; no observándose diferencias significativas al nivel del 5% según el Test LSD. Esta experiencia demostró que la reutilización de las aguas residuales urbanas debidamente tratadas, constituye un recurso hídrico excelente para la producción de colza bajo condiciones de riego; resultando el empleo de celdas de resistencia eléctrica una tecnología práctica y eficiente para el manejo de este cultivo.

Palabras claves: colza, aguas residuales, tratamiento, riego subterráneo, producción.

SUMMARY

Production of rapeseed canola (*Brassica napus* L.) in dry land and low irrigation with waters of different quality.-

In 2004 an experiment at the UNRC was made to evaluate the behavior of colza farming under conditions of dry land and the effects of irrigation with water from university students residences. This water is regenerated by activated muds and mature lagoons in order to restore it to the productive cycle. The experiment development on typical a Hapludol grounds uses divided sections, the main treatment is hydric conditioning: dry land (S); waste water treated (ART) and water from a well (AL). The second treatment is to cultivate them: SW-Eclipse (E) and Máster (M). During the cycle of the cultivation the hydric evolution of the profile of the ground were made by two different methods gravimetric and potenciométrica, were applied by placing underground irrigation net to laminate yielding 243 mm. The yielding 2313,7 averages were of kg ha^{-1} , 2258,8 kg ha^{-1} and 1037 kg ha^{-1} for ART, AL and the S; demonstrating statistically significant differences for the condition of irrigation with respect to dry land by the components of the products and the efficiency of the use of the water were determined registering values of 0,87 kg m^{-3} , 0,64 kg m^{-3} and 0,62 kg m^{-3} for S, ART and AL; not reaching significant differences at the level of 5% according to test LSD. This experience demonstrated the importance of colza as a regional alternative to wheat, diversifying the traditional productive system. On the other hand, the reuse of urban waste water properly treated, constitutes an excellent hydric resource if it is intended to make colza under conditions of irrigation. Here I argue the use of cells of electrical resistance, turned out to be a practical and efficient technology for the handling of this crop.

Key words: rapeseed canola, waste water, treatment, underground irrigation, production.

1. INTRODUCCIÓN

El desbalance entre la existencia del recurso hídrico y el crecimiento exponencial de la población, está generando uno de los problemas más importantes de la actualidad, y del futuro, “la escasez de fuentes de agua adecuada para consumo humano”. En tal sentido, cuando las mejores aguas disponibles no cumplen con las normas establecidas de potabilidad, se hace necesario tratarlas y desinfectarlas quedando la salud de las personas en manos de la institución y del personal responsable de tales actividades.

Los problemas ecológicos y de salud pública originados por las aguas residuales han sido mejor atendido por los países desarrollados en los cuales la población tiene mayor conciencia sobre la contaminación y, a su vez, disponen del dinero suficiente para hacer frente a obras de ingeniería de envergadura que resuelven –tecnologías convencionales mediante- estas situaciones que afectan al medio ambiente y a las personas. Dentro de estas tecnologías se pueden citar (Hernández Muñoz *et al.*, 1996):

- Lechos percoladores
- Sedimentadores primarios y secundarios
- Fangos activados
- Contactores biológicos rotativos

Entre otras, requieren las siguientes características:

- Demandan un alto aporte energético
- Requieren controles muy exhaustivos
- Precisan mano de obra muy especializada (Ingenieros, microbiólogos etc.)
- Presentan buenos rendimientos de depuración
- Operan efectivamente en períodos muy cortos
- Tienen altos costos de instalación y operación

No obstante, recientemente las tecnologías no convencionales, blandas, de bajo costo y descentralizadas de tratamiento, han recibido una mayor atención transformándose - principalmente para los países subdesarrollados- en herramientas posibles de implementar a los fines de estabilizar la materia orgánica y clarificar las aguas residuales urbanas, removiéndose de ellas muchas sustancias incluyendo algunas tóxicas. Estas tecnologías constituyen una excelente alternativa de tratamiento de las aguas residuales para pequeños y medianos municipios, no superiores a 25000 habitantes. Así, por ejemplo, encuentran un gran campo de aplicación en Andalucía -España-, donde el 96 % de los núcleos poblacionales se encuentran bajo este límite (DGOH, 1992).

Dentro de las tecnologías no convencionales, se pueden citar:

- Los filtros verdes, que valiéndose de un mecanismo de fitorremediación (Schnoor *et al.*, 1995) pueden remover altas concentraciones de residuos. Para este fin se están utilizando fundamentalmente álamos (*Populus sp.*) por ser la especie más idónea por la absorción de nutrientes, por la capacidad de resistir inundaciones en los períodos de reposo invernal y por su rentabilidad maderera.
- Las lagunas de estabilización, que constan de una pileta o un estanque o una serie de ellos, en el cual se depositan los efluentes para ser tratados biológicamente; constituyen la solución apropiada para aquellos núcleos poblacionales donde la tierra es barata, hay falta de personal calificado y se dispone de poco dinero para mantenimiento. Generalmente lo que se construye es una serie de lagunas en las que el tirante hidráulico (altura de agua) varía desde 4 m a 0.80 m para las lagunas anaerobias y de maduración respectivamente (Massa López, 1988).

Es muy importante el manejo de los efluentes urbanos, pues se pueden presentar altas tasas de enteritis y otras enfermedades diarreicas, lo mismo que fiebre tifoidea y cólera, en parte de la población que generan las aguas residuales; los gérmenes patógenos productores son, por consiguiente, diseminados al ambiente a través de las aguas servidas. Por lo tanto el bajo grado de saneamiento ambiental, y el uso de aguas residuales crudas en riego sin control, son la causa de la alta incidencia de enfermedades entéricas causadas por patógenos como *Salmonellas*, *Shigellas*, *Vibro cholerae*, *Enterovirus* (Toze, 1997). Por esto resulta tan importante construir Plantas de tratamiento de Aguas Residuales y tratar que estas siempre operen adecuadamente, evitando las sobrecargas que frecuentemente ocurren por falta de programas de ampliación y mejoramiento de los sistemas de tratamiento. En definitiva, una alternativa que puede seguirse y que efectivamente se sigue en muchos lugares de Argentina, es que luego de que las aguas son tratadas y por lo tanto regeneradas por mecanismos físicos, químicos y/o biológicos, son descargadas a una vía natural de drenaje donde ya no van a deprimir el oxígeno disuelto, ni bajar la biodiversidad de especies, ni causar eutrofización. Como respuesta evidente a este comportamiento en algunos ríos donde se ha intensificado el tratamiento de aguas residuales, han vuelto a aparecer ciertas especies de peces después de muchos años de ausencia (CEPIS, 1995).

Siendo el sector agrícola responsable del consumo de más del 70% de los recursos hídricos globales compitiendo en forma creciente con los centros poblados, se hace necesario encontrar fuentes alternativas de agua para riego y una de las formas es a través del mejoramiento del uso de aguas residuales urbanas que son el producto de la mayor parte del agua que utilizan las poblaciones, transformando los desechos en recursos para la obtención de productos útiles y necesarios para la población poniendo en práctica un concepto muy

importante y complementario del tratamiento, que es la reutilización de los efluentes (IWMI, 2006).

Argentina en su extensa superficie territorial presenta una gran variabilidad climática, geológica y topográfica, reconociendo una serie de regiones con particularidades muy notorias; en algunas, las precipitaciones sobrepasan los 2000 mm anuales, mientras que en otras, apenas llegan a los 100 mm; esta amplitud aunada a otras características climáticas, como variaciones de temperaturas, intensidad y frecuencia de los vientos, magnitud de la radiación, entre otras; determina que desde el punto de vista pastoril y agrícola se puedan delimitar tres grandes regiones: la región húmeda (68.000.000 de ha), la región semiárida (48.000.000 de ha) y la región árida (170.000.000 de ha). Esto significa que el 75% de la superficie se halla en condiciones de aridez y semiaridez por lo cual en principio se reconoce que el factor que más condiciona la producción de alimentos es el agua, lo cual exige la aplicación de tecnologías específicas aptas para lograr buenos cultivos de manera sostenible (Gil y Garay, 2001).

El uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura constituye una de las herramientas más valiosas para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola cuando el recurso hídrico es limitado. Tarchitzky (2004) señala que Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales y que la política nacional contempla, para el uso agrícola, la sustitución gradual del agua potable por efluentes tratados; así en 1999, se usaba el 22 %, en el 2005 el 40 % y se estima para el 2020, alcanzar el 50 %.

Estudios realizados en Río Cuarto demuestran que es posible reutilizar en riego los efluentes municipales tratados. De esta manera, se aprovecha el recurso hídrico, se reduce el impacto ambiental y se maximizan los beneficios agrícolas (Crespi, 2005a).

Una vez que se decide la reutilización de las aguas residuales tratadas, es preciso saber que hay que ajustarse a ciertas normas de regulación y hacer un seguimiento de esta agua de calidad marginal, ya que no siempre es bien conocido el impacto ambiental que pueden causar su uso continuo en el tiempo (Crook y Surampalli, 1996; Salgot y Pascual, 1996). En este caso particular, la interacción agua residual tratada - cultivo de colza (*Brassica napus L.*), permite cierta flexibilidad respecto a las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud debido a que se trata de un cultivo de aprovechamiento indirecto por el hombre, ya sea producción de aceite y/o Biodiesel (Crespi, 2005b) y de un sistema de riego subterráneo (Crespi *et al.*, 2004) donde el contacto directo con el agua por parte del operario es prácticamente nulo.

Entre las metodologías de riego conocidas hasta el momento y empleadas con aguas residuales tratadas, el riego por aspersión debería descartarse (Oron *et al.*, 1992) y la técnica del riego por goteo -particularmente el subterráneo- es la más reciente y segura en lo que

hace a la operación del sistema advirtiéndole que se trabaja con este tipo de agua de calidad marginal. El suelo potencia su efectividad, trabajando como un filtro vivo en conjunción con el proceso de goteo (Oron *et al.*, 1991) y su capacidad de filtración, depende del tamaño y distribución de las partículas de suelo, del contenido de humedad y materia orgánica, y de las características de adsorción eléctrica y química (Lamm, 2002).

La colza es un cultivo de invierno desarrollado a partir del mejoramiento genético del género *Brassica*. La semilla es pequeña, contiene más de 40% de aceite, mientras que la harina contiene de 38 a 40% de proteína. Su aceite es considerado de alta calidad porque contiene bajos niveles de ácidos grasos saturados y alto porcentaje de ácidos grasos no saturados, se recomienda en las dietas alimenticias y está asociado a una disminución del riesgo de enfermedades coronarias (Sursem, 2005).

Actualmente, la producción agropecuaria se enfrenta a un desafío constituido en su mayor parte por la demanda de mercado cada vez más exigente en los aspectos de calidad. En nuestro país, el cultivo de colza se presenta como un producto capaz de satisfacer esas exigencias. La producción de colza es una situación atractiva, que no deberíamos dejar de considerar (Valetti, 1996) y constituye una opción interesante para diversificar la producción agrícola invierno-primaveral en la región triguera argentina; presenta demandas agroclimáticas similares a las del trigo y ha demostrado tener un amplio potencial de rendimiento, tanto en grano como en aceite, con un esquema sencillo de manejo. Además, eligiendo el cultivar adecuado y con fechas de siembra temprana, permite liberar anticipadamente el suelo proporcionando nuevas alternativas en la secuencia de cultivos (Villar, 1998).

Los objetivos fundamentales de este trabajo, consistieron en estudiar la respuesta del cultivo de colza bajo riego subterráneo tanto con aguas residuales tratadas como con agua de perforación; fijando la oportunidad de riego, en base a distintas metodologías de determinación de la humedad de suelo.

1.1. Hipótesis:

- 1.1.1 El cultivo de colza se adaptaría a las condiciones agroclimáticas de Río Cuarto siendo una muy buena alternativa invernal del cultivo de trigo.
- 1.1.2 El riego subterráneo con aguas tratadas aumentaría significativamente la producción de colza por el aporte balanceado de nutrientes.
- 1.1.3 La determinación de humedad de suelo con celdas de resistencia eléctrica como elemento auxiliar para el manejo del riego, resultaría práctica y no tendría errores significativos en las distintas etapas fenológicas del cultivo de colza comparado con determinaciones directas.

1.2. Objetivos Generales:

- 1.2.1 Evaluar el comportamiento del cultivo de colza bajo la aplicación de aguas residuales tratadas mediante riego subterráneo.
- 1.2.2 Analizar alternativas para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de colza bajo riego subterráneo con aguas de diferente calidad.
- 1.2.3 Plantear una metodología práctica y sencilla para determinar de forma rápida y precisa el contenido hídrico del suelo para una correcta programación del riego.
- 1.2.4 Valorar la incorporación al ciclo productivo de un agua de riego de calidad marginal.

1.3. Objetivos específicos:

- 1.3.1 Manejar las operaciones que conducen al tratamiento y oportunidad de reutilización de aguas residuales urbanas tratadas.
- 1.3.2 Justificar el riego con aguas residuales tratadas mediante el aumento de la producción y la disminución del impacto ambiental.
- 1.3.3 Instalar un sistema de riego subterráneo.
- 1.3.4 Calibrar el método de riego empleado para aplicaciones precisas y frecuentes.
- 1.3.5 Mantener un elevado umbral de riego durante todo el ciclo del cultivo.
- 1.3.6 Comparar dos metodologías para la determinación de la humedad de suelo.
- 1.3.7 Determinar el coeficiente de cultivo (kc) para los diferentes estadios fenológicos del cultivo.
- 1.3.8 Seleccionar el uso de un sistema simple y eficiente que ordene la oportunidad de riego.
- 1.3.9 Operar diferentes sistemas de riego para controlar las bajas temperaturas en las primeras etapas fenológicas del cultivo.
- 1.3.10 Estudiar dos cultivares de colza en secano y bajo riego con agua limpia de perforación y con aguas residuales tratadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente experiencia fue desarrollada durante el ciclo agrícola invernal del año 2004 en el predio del Campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto localizado a los 64° 14' longitud W de G., 33° 07' latitud sur y a 421 m.s.n.m (Figura 1).

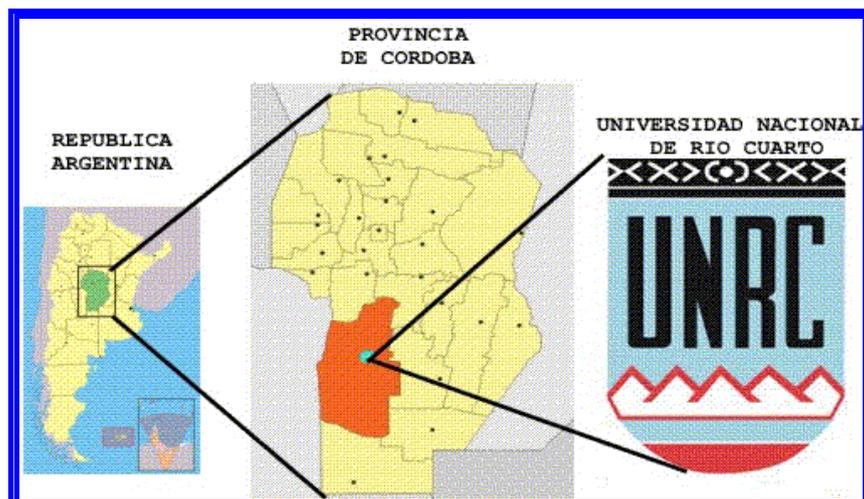


Figura 1: Ubicación geográfica del ensayo. Centro-sur de la provincia de Córdoba.

En la tabla 1 se muestran datos de suelo para la profundidad de interés con los que se permite calcular los parámetros para la ecuación de tipo general (Ecuación 1) descrita por Puiatti (1984), que permite estimar la variación del contenido de humedad en el suelo en función de la tensión con que éste retiene el agua. Posteriormente con los resultados obtenidos se elaboró la curva de capacidad hídrica (CCH).

Tabla 1: Datos auxiliares de suelo para construir la CCH. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

Profundidad cm	CONSTANTES HÍDRICAS						
	Cap. de campo		Pto. de march. permanente		Parámetros de la ecuacion		
	Dap gcm ⁻³	Wc gg ⁻¹	θc cm ³ cm ⁻³	Wm gg ⁻¹	θm cm ³ cm ⁻³	-b	a
0-15	1,47	22,40	32,93	7,4	10,88	-0,28312	23,41676

$$\theta (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}) = a S (\text{atm})^{-b}$$

Ecuación 1

Donde: θ = contenido hídrico

$$-b = \log(\theta_c/\theta_m)/\log(0,3/15)$$

$$a = \theta_c/0,3^{-b}$$

S = succión

El suelo es un Hapludol típico, de propiedades físicas y comportamiento diferente según los horizontes que se trate (Etchevehere, 1976).

La descripción del perfil (Soil Survey División Staff, 1993), es la siguiente:

Ap₁: de 0 a 4 cm; la textura es media, por la forma y ordenamiento de sus agregados presenta una estructura de tipo subangular, con bloques de 5-10 cm y de grado débil.

Ap₂: de 4 a 16 cm; textura franca, estructura de tipo subangular de grado moderadamente resistente de 10-20 mm y material ligeramente adhesivo.

2A: de 16 a 28 cm; la textura es franca medianamente plástica y adherente, su estructura es de tipo angular, con bloques de 20-30 mm de grado moderado a fuerte.

3AC: de 28 a 45 cm; textura arenosa a arenosa franca, de escasa adherencia y poca plasticidad. Su estructura es de tipo subangular, con bloques de 20 mm de grado débil.

4A: de 45 a 64 cm; la textura es franco a franco arcillosa, medianamente plástico y adherente. Presenta bloques subangulares de caras planas y vértices agudos, 5-20 mm, de grado moderado.

4BW: de 64 a 74 cm; la textura es franco a franco arcillosa, medianamente plástico y adherente. Presenta bloques subangulares de 10-20 mm, grado moderado a fuerte, con presencia de mica.

4BWK: + de 74 cm, la textura es franca, algo plástica y adherente. Presenta bloques subangulares, de clase media a gruesa de 15-40 mm, de grado moderado a ligeramente duro, con presencia de mica.

La densidad aparente, en el transcurso del ensayo, se determinó por el método de Uhland mediante cilindros de acero inoxidable de 48 mm de diámetro interno y una altura de 50 mm (Figura 2) para, posteriormente, determinar la humedad volumétrica. En cada oportunidad de muestreo, se tomó el peso en húmedo de suelo en el campo por medio de una balanza portátil (con el fin de disminuir el margen de error de pesada debido al transporte desde el campo al laboratorio); luego, una vez en laboratorio las muestras se secaban en estufa a 105°C durante 48 h, posteriormente se obtenía el peso seco de cada muestra.



Figura 2: Instrumentos para la obtención de muestras de suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El agua limpia se obtuvo de una perforación ubicada en el mismo predio de la experiencia. La fuente de agua residual tiene su origen en una población de 432 habitantes, denominada *Residencias Estudiantiles Universitarias* (REU) ubicadas en el campus universitario de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), proyecto social único en el sistema universitario argentino que alberga a estudiantes becarios en su totalidad (Plano 1. Anexo). Se tomó una muestra de 8 departamentos con un total de 32 habitantes que generan diariamente 3200 L de efluente, que pasa por cuatro cámaras sépticas y vierte en una tubería principal de PVC (Cloruro de Polivinilo) clase 4, de 110 mm de diámetro externo y de 48 m de longitud; en su trayecto está provista de 3 cámaras de inspección para solucionar potenciales atascamientos y con una pendiente proyecto del 1,5%, se conduce el efluente por gravedad hasta una cisterna plástica de 500 L de capacidad (Figura 3).

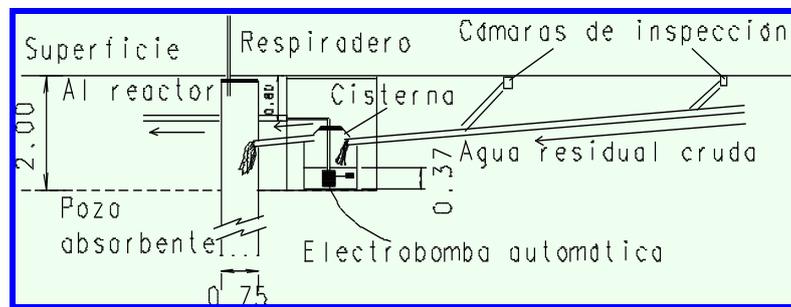


Figura 3: Sistema de recolección de aguas residuales. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En el fondo de la cisterna se ubica una electrobomba centrífuga portátil de 3/4 HP que posee un flotante automático y periódicamente se activa cuando se presenta suficiente carga hidráulica en el depósito. El efluente se conduce a través de 42 m de tubería de PVC de 110 mm de diámetro hacia un reactor biológico impermeabilizado con PE (Poliétileno) negro de 400 micrones de espesor y que tiene una capacidad de 24000 L (Figura 4).



Figura 4: Reactor Biológico impermeabilizado con polietileno. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El tratamiento del agua residual se realizó mediante la aplicación de tecnologías no convencionales disponiendo de tres lagunas en serie; es decir, un reactor biológico y dos lagunas de maduración (Figura 5). La primera posee un tirante hidráulico de 1,3 m en la cual se produce la digestión de la materia orgánica bajando significativamente la demanda biológica de oxígeno (DBO) y las otras dos lagunas de maduración, de un tirante de 0,7 m, eliminan a través de la luz ultravioleta la población de gérmenes patógenos hasta el nivel permisible para riego (Hernández Muñoz *et al.*, 1996). De estas lagunas de maduración se realizó la captación de aguas residuales para riego.



Figura 5: Vista de las dos lagunas de maduración en serie. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Las determinaciones químicas básicas del agua limpia obtenida para riego se muestran en la tabla 2 y las del agua residual se observan en la tabla 3.

Tabla 2: Determinaciones analíticas del agua limpia. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

DETERMINACIONES QUÍMICAS BÁSICAS			
		meq/L	mg/L
Carbonatos	(CO ₃ ⁻²)	0,000	0,000
Bicarbonatos	(HCO ₃ ⁻)	2,920	178,120
Cloruros	(Cl ⁻)	0,240	8,510
Sulfatos	(SO ₄ ⁻²)	0,345	16,570
Sumatoria de aniones		3,505	203,201
Calcio	(Ca ⁺²)	2,000	40,080
Magnesio	(Mg ⁺²)	0,240	2,918
Sodio	(Na ⁺)	0,850	19,550
Potasio	(K ⁺)	0,270	10,557
Sumatoria de cationes		3,360	73,105
Conductividad Eléctrica (CE) en dS/m			0,45
pH			7,40
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)			1,21

Tabla 3: Determinaciones analíticas del agua residual urbana. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALOR
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	252,00
pH		7,82
Conductividad Eléctrica	dS/m	1,13
Turbiedad	FAU	263,50
Nitrógeno total	mg/L	108,5
Fósforo Total	mg/L	8,1
Alcalinidad carbonatos	mg/L	< 1
Alcalinidad total	mg/L	350,00
Hierro	mg/L	1,30
Litio	mg/L	No detectable
Boro	mg/L	0,14
Cromo	mg/L	0,04
Magnesio	mg/L	11,60
Manganeso	mg/L	0,08
Níquel	mg/L	No detectable
Potasio	mg/L	16,00
Plomo	mg/L	No detectable
Selenio	mg/L	No detectable
Aluminio	mg/L	0,99
Arsénico	mg/L	0,017
Cadmio	mg/L	0,00014
Zinc	mg/L	0,11
Cobalto	mg/L	No detectable
Cobre	mg/L	No detectable
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	113
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	265

Con los dos tipos de agua, por medio de electrobombas centrífugas, se alimentó un sistema de riego subterráneo (Carlile y Sanjines, 1995), el cual contó con un centro de control (Figura 6), compuesto, en lo que respecta a agua limpia, por 2 llaves esféricas de 1", 2 manómetros de 2 kgf cm^{-2} , 1 filtro de malla de 1" de 100 micrones y 1 válvula de aire de 1". Para la línea de agua residual se dispuso de los mismos componentes que agua limpia sumando un doble filtrado de anillo de 130 micrones de 1½".



Figura 6: Centro de control del sistema de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El sistema de distribución está compuesto por 150,8 m de tubería de PVC de 40 milímetros de diámetro externo, clase 6 y 95.5 m de tuberías de goteo Naan Tif 16/1 conectadas en un circuito cerrado a la red principal (red mallada) con una descarga unitaria de $1,75 \text{ L h}^{-1}$ por punto de emisión a 1,5 bar de presión. La red se ubicó a una profundidad de 0,3 m por debajo de la superficie del suelo incorporando un sistema de protección a la intrusión radical con una manta de geotextil (Crespi, 2003) haciendo su instalación en forma manual (Figura 7).



Figura 7: Instalación del sistema de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Cada parcela bajo riego, tanto para agua limpia como residual tratada, tiene tres líneas de goteo espaciadas a 0,7 m entre si y cada línea cuenta con 10 emisores espaciados a 0,33 m.

Con esta disposición, el diseño experimental del ensayo quedó definido en bloques con parcelas divididas (split plot), con un arreglo factorial 3 x 2 (Tabla 4) y 3 repeticiones; es decir que consiste en asignar un tipo de tratamiento a las parcelas mayores (para este caso la condición hídrica) y asignar otro tipo de tratamiento a las divisiones que se denominan sub-parcelas (para este caso cultivares SW-Eclipse – Master).

Tabla 4: Tratamientos realizados según el arreglo factorial. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CONDICION HÍDRICA	AGUA LIMPIA	AGUA RESIDUAL	SECANO
	CULTIVARES		
Eclipse	EAL	EAR	ES
Master	MAL	MAR	MS

Donde: EAL: Eclipse Agua Limpia; EAR: Eclipse Agua Residual; ES: Eclipse Secano.

MAL: Master Agua Limpia; MAR: Master Agua Residual; MS: Master Secano.

La superficie total del ensayo, incluyendo control por efecto de bordes y caminos, fue de 340,20 m² (18,90 m x 18,00 m), compuesto por un total de 18 unidades experimentales de una superficie neta unitaria de 5,6 m² (1,75 m x 3,2 m), dejando caminos de 2,1 m de ancho que actúan como bordes. En la Figura 8 se observa una vista en planta del ensayo con identificación de parcelas, líneas de riego y disposición de fajas implantadas.

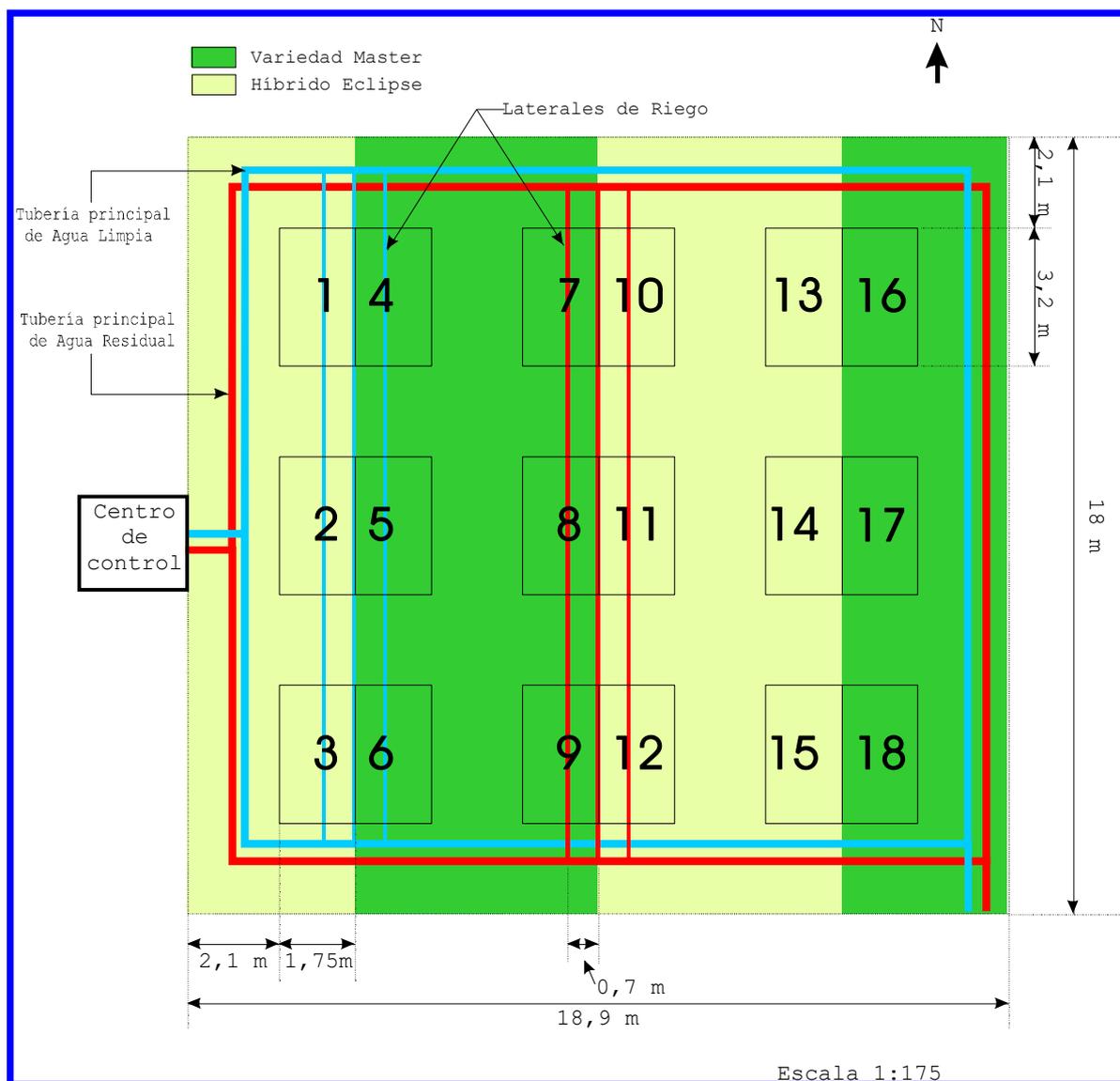


Figura 8: Disposición del sistema de riego y de las parcelas. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Para seguir la *evolución de humedad del suelo* durante el desarrollo del cultivo y con el fin de tener un parámetro para decidir el momento de riego, se seleccionó al azar una parcela regada con agua limpia donde se colocaron cuatro sensores que detectan el potencial de succión del agua en el suelo en centibares a través de un lector digital de resistencia eléctrica (*Moisture indicator. Watermark model 30KTCD Irrrometer Co.*) (Figura 9).



Figura 9: Lector digital de resistencia eléctrica (izquierda) y sensor de resistencia eléctrica (derecha) . UNRC. Río Cuarto Córdoba.

Los cuatro sensores dentro de la parcela se dispusieron a tres profundidades diferentes y entre las líneas de riego (Figura 10). Dos sensores se localizaron entre los primeros 0,08 a 0,15 m de profundidad, otro se ubicó entre los 0,23 a 0,30 m y el último entre los 0,43 a 0,5 m (Figura 11). Es importante aclarar que la ubicación de los dos sensores a la misma profundidad (0,8 a 0,15 m) tenía como finalidad la obtención de un promedio, entre los registros de ambos, a fin de ser mas preciso en la posterior comparación con las determinaciones volumétricas de humedad, ya que las muestras para desarrollar esta metodología se extraían a esa profundidad del perfil.

Durante todo el desarrollo del ciclo del cultivo, con una frecuencia de dos veces por semana, se hicieron determinaciones de la lámina almacenada en el suelo para la misma profundidad tanto por humedad gravimétrica de suelo (determinación directa) como por lectura de centibares (determinación indirecta) registrándose los datos relevados en una planilla de campo.

La programación del riego se definió con la información de humedad de suelo disponible en los primeros 15 cm superiores del perfil y con las características del sistema de riego en cuestión. El punto de marchitez incipiente (W_i) se fijó para un consumo de agua útil del 12 %, correspondiente a una succión del agua en el suelo de 40 centibares equivalente a un porcentaje de humedad de suelo de 20,65. Por lo tanto, se decidió que en cada oportunidad de muestreo que se registrara en alguno de los dos sensores ubicados a los 15 cm de profundidad una succión superior o igual a los 40 centibares, se aplicaría un riego de una hora de duración, equivalente a una lámina bruta de 7,8 mm.

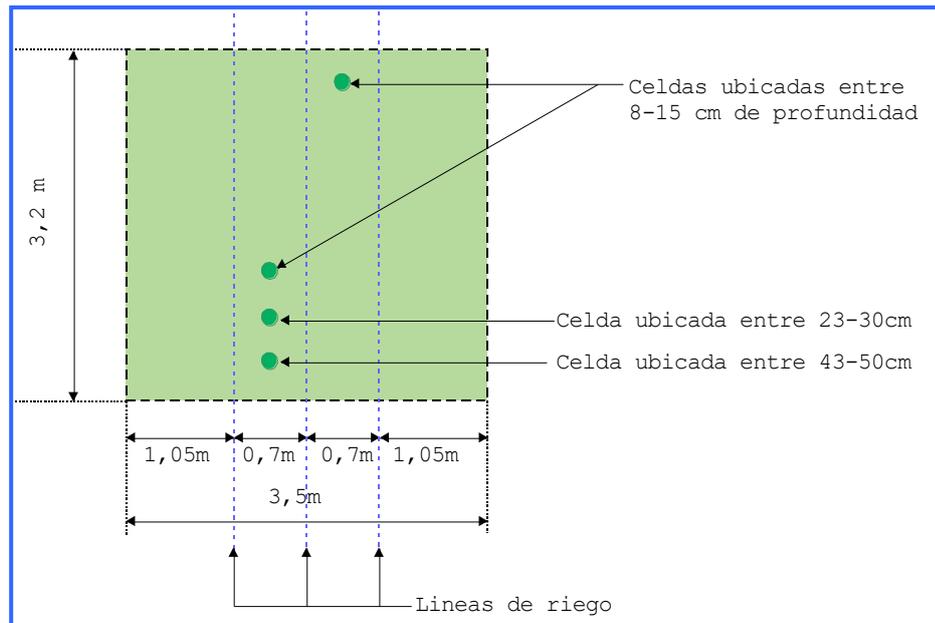


Figura 10: Disposición de sensores entre las líneas de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

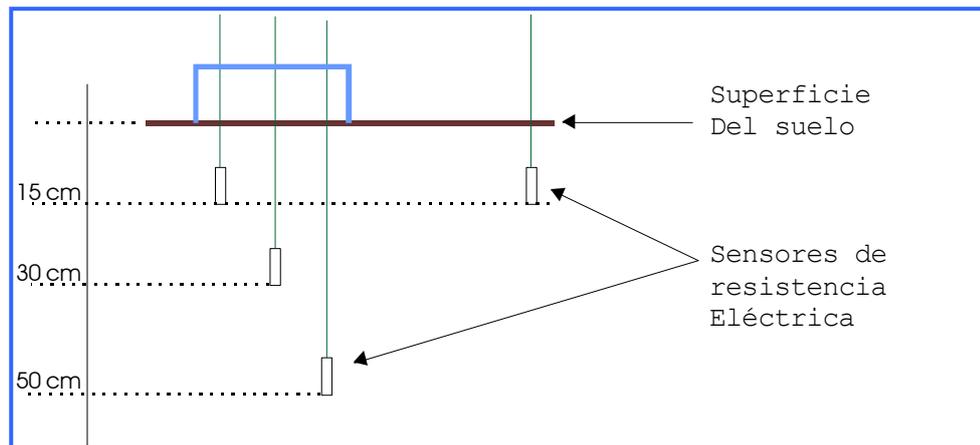


Figura 11: Disposición esquemática de sensores en el perfil. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

La fecha de siembra del ensayo fue el 5 de junio del 2004 (Tabla 5) bajo sistema de labranza convencional, posterior a la instalación del sistema de riego subterráneo. En pre-siembra se efectuó una aplicación de trifluralina, con mochila pulverizadora, a una dosis equivalente a 2 L ha^{-1} de herbicida y un caudal de 80 L ha^{-1} de agua; incorporándose al suelo por medio de una rastra de discos doble acción, a una profundidad de labor de 10 cm.

Se utilizaron dos cultivares de colza (*Brassica napus L.*), por una parte se sembró el híbrido simple *SW-Eclipse*, de tipo primaveral y ciclo intermedio (167 días); y por otro lado, la variedad *Master*, también de tipo primaveral y ciclo intermedio (170 días). La densidad de siembra fue de $6,2 \text{ kg ha}^{-1}$ con el objetivo de alcanzar el rango de 80 a 100 plantas por m^2 a cosecha.

Tabla 5: Labores realizadas sobre el cultivo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FECHA	LABORES
05/06/04	Aplicación de herbicida presiembra
05/06/04	Incorporación con rastra doble acción
05/06/04	Siembra
15/06/04	Riego por aspersión (2 mm*)
07/07/04	Riego por aspersión (1 mm*)
10/07/04	Riego por aspersión (1 mm*)
12/07/04	Riego por aspersión (1 mm*)
15/07/04	Riego por aspersión (2 mm*)
19/07/04	Riego por aspersión (1 mm*)
23/07/04	Riego subterráneo (3,9 mm*)
25/07/04	Riego subterráneo (3,9 mm*)
09/08/04	Riego subterráneo (3,9 mm*)
11/08/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
13/08/04	Riego subterráneo (15,6 mm*)
23/08/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
25/08/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
27/08/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
27/08/04	Control de malezas post-emergencia
30/08/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
31/08/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
04/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
06/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
08/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
10/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
14/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
15/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
16/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
17/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
20/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
22/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
23/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
24/09/04	Riego subterráneo (11,7 mm*)
28/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
29/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
29/09/04	Control de Pulgón (<i>Brevicoryne brassicae</i>)
30/09/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
04/10/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
05/10/04	Riego subterráneo (19,5 mm*)
26/10/04	Riego subterráneo (7,8 mm*)
01/11/04	Riego subterráneo (15,6 mm*)
20/11/04	Corte: Madurez fisiológica.
04/12/04	Trilla

Donde: * corresponden a valores de lámina bruta.

La siembra (Figura 12) se realizó con una sembradora marca “*Torerco*” de 4 líneas individuales de siembra con placa fija y removedor superior. El tren de siembra cuenta con doble disco abresurco, dos tapadores tipo azadón y rueda compresora. La profundidad media de siembra fue de 1,5 a 2 cm y el espaciamiento entre hileras de 0,25 m.



Figura 12: Siembra de colza. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En seis oportunidades después de la siembra y con la utilización de un sistema de riego por aspersión (Figura 13), se aplicó una lámina bruta de 8 mm al solo efecto de controlar los daños por helada; teniendo en cuenta que el estadio susceptible a esta adversidad climática comprende desde estado cotiledonar hasta la segunda hoja verdadera inclusive (Sursem, 2004).



Figura 13: Sistema de riego por aspersión. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En lo que respecta a manejo de malezas en postemergencia, se realizó una pulverización con Lontrel (*Clopiralid* 36%) a los 83 días después de siembra (DDS) en forma manual, con una dosis equivalente de 150 cm³ ha⁻¹ de herbicida y 80 L ha⁻¹ de agua; principalmente para control de *Biznaga* (*Ammi visnaga* L.), *Manzanilla* (*Anthemis cotula* L.), *Cardo* (*Carduus acanthoides* L.), entre otras.

En cuanto a plagas, se debió controlar un ataque de Pulgón ceniciento (*Brevicoryne brassicae*) a los 116 DDS mediante una pulverización con Lorsban (*Clorpirifos* 48%) por la misma metodología de aplicación que el herbicida anterior, a una dosis equivalente a los 0,6 L ha⁻¹ y 80 L ha⁻¹ de agua.

Llegado a la madurez fisiológica del cultivo y teniendo en cuenta el porcentaje de cambio de color de los granos sobre la vara central, se realizó el corte en forma manual (Figura 14) del total de las plantas presentes en 1 m² de superficie en el centro de cada tratamiento. En este momento se determinó la densidad de plantas a cosecha (plantas m⁻²), además de evaluar los componentes de rendimiento (número de silículas por planta y número de granos por silícula) al 5 % representativo de la población. Otro parámetro que se determinó fue la altura de despegue (desde el cuello de la planta hasta la inserción de la primer silícula) variable muy importante para definir la altura óptima de corte en la práctica de hilerado o cosecha directa.



Figura 14: Corte de plantas en un m² central. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Una vez alcanzada la madurez fisiológica del cultivo, es decir la fecha de corte, se determinó la curva única de variación del Kc (Coeficiente del Cultivo) en función del tiempo por medio de la Ecuación 2 (Grassi, 1980).

$$Kc = [0,0942 + 0,02774 t - 0,0002126 (t^2)] Fc$$

Ecuación 2

Donde: t = es el tiempo expresado en porcentaje con relación a la duración del ciclo vegetativo

Fc = Es el factor de cultivo correspondiente a colza.

En la figura 15, se observa la trilla en forma manual del material cortado. Una vez separada la semilla del resto de la planta se pesó cada una de las muestras y se determinó su producción.



Figura 15: Trilla y limpieza del material cortado y seco. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

La Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) se determinó teniendo en cuenta la cantidad total de agua recibida por el cultivo (riegos mas precipitación), afectado por la correspondiente eficiencia del riego y un coeficiente que determinó la precipitación efectiva (Hussain y Al-Jaloud, 1998). La ecuación resultante (Ecuación 3) quedó expresada como la relación entre el rendimiento en grano sobre el total de agua recibida.

$$\text{EUA}(\text{kg/ha}) = \text{Rendimiento}(\text{kg/ha}) / \text{Total de agua recibida}(\text{mm})$$

Ecuación 3

A los fines de realizar los estudios estadísticos, en este trabajo se utilizaron los software **Statistix 8.0** y **Stat graphic plus**.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de la curva de capacidad hídrica.

La ecuación resultante del potencial hídrico de agua en este suelo, (Ecuación 4), según los parámetros obtenidos para los primeros 15 cm de profundidad es la siguiente:

$$\theta (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}) = 23.41676 S (\text{atm})^{-0.283122} \quad \text{Ecuación 4}$$

Considerando la Ecuación 4, se obtuvieron los resultados de θ (Humedad volumétrica) y W (Humedad gravimétrica) para diferentes succiones mátricas (Tabla 6).

Tabla 6: Contenido a diferentes succiones mátricas. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

PERFIL DE 0-15 cm		
Succión mátrica (atm)	$\theta \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (t/u)	W gg^{-1} (%)
0,3	0,3293	22,40
0,4	0,3035	20,65
0,5	0,2849	19,38
0,6	0,2706	18,41
0,7	0,2590	17,62
0,8	0,2494	16,97
0,9	0,2413	16,41
1	0,2342	15,93
2	0,1924	13,09
3	0,1716	11,67
4	0,1582	10,76
5	0,1485	10,10
6	0,1410	9,59
7	0,1350	9,18
8	0,1300	8,84
9	0,1257	8,55
10	0,1220	8,30
11	0,1188	8,08
12	0,1159	7,88
13	0,1133	7,71
14	0,1109	7,55
15	0,1088	7,40

Con los valores de la tabla 6 se define la Curva de Capacidad Hídrica del Suelo (Figura 16) correspondiente a esa profundidad del perfil. Cabe aclarar que 1 atmósfera equivale a 1,01325 bares.

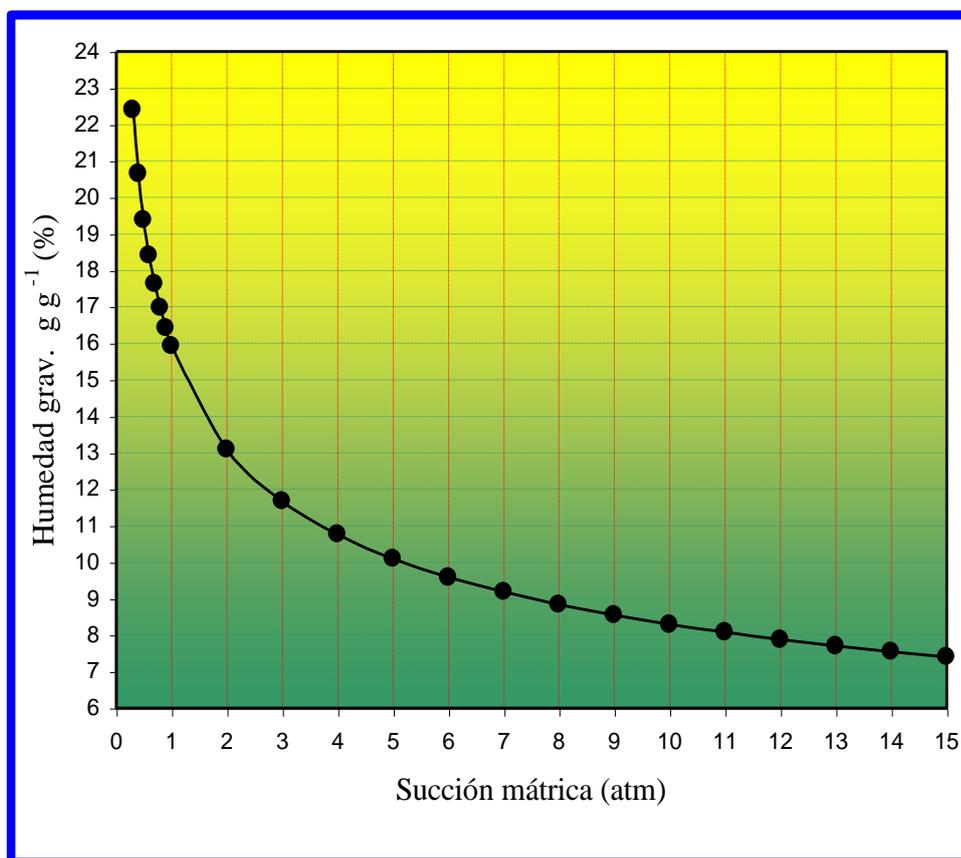


Figura 16: Curva de capacidad hídrica para los primeros 15 cm de profundidad. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El sistema de medición de humedad de suelo Watermark, utilizado en esta experiencia, aconseja como margen para iniciar el riego cuando se registra una succión entre 30-60 centibares. Para este trabajo se definió el punto de marchitez incipiente a los 40 centibares, lo que significó reponer la lámina almacenada cuando se consumía alrededor del 10 al 12 % del agua útil (Tabla 7).

Tabla 7: Parámetros hídricos para los primeros 15 cm. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

PARÁMETROS HÍDRICOS	CENTIBARES	BARES	W (g/g)	LÁMINA (mm)
Capacidad de Campo	30	0,30	22,40	49,39
Marchitez incipiente	40	0,40	20,65	45,53
Punto de marchitez permanente	1500	15	7,40	16,32
Agua útil				33,08

3.2. Evolución del contenido hídrico del suelo de acuerdo a determinaciones directas.

En cada oportunidad de muestreo se registraba en una planilla (Tabla 8) los datos correspondientes y posteriormente se calculaba el contenido hídrico del mismo utilizando la Ecuación 5.

$$W (\%) = \left[\frac{PNH(g) - PNS(g)}{PNS (g)} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: PNH: Peso Neto Húmedo; PNS: Peso Neto Seco.

Tabla 8: Registros de los muestreos directos de suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

MUESTRA	FECHA	PBH	PBS	TARA	PNH	PNS	Wc(%)
1	22/06/04	243,2	217,5	94	149,2	123,5	20,80
2	25/06/04	250,6	225,3	92,1	158,5	133,2	18,99
3	28/06/04	250,7	222,7	92	158,7	130,7	21,42
4	02/07/04	264	236	91,9	172,1	144,1	19,43
5	05/07/04	254,9	229,7	91,9	163	137,8	18,28
6	09/07/04	249,7	226,3	91,9	157,8	134,4	17,41
7	12/07/04	249,8	223,3	92	157,8	131,3	20,18
8	15/07/04	251,2	224,2	92	159,2	132,2	20,42
9	19/07/04	260,2	232,5	92	168,2	140,5	19,71
10	23/07/04	249	223,1	92	157	131,1	19,75
11	26/07/04	251,3	225	92	159,3	133	19,77
12	30/07/04	253,9	224,4	92	161,9	132,4	22,28
13	02/08/04	250,7	222,6	92	158,7	130,6	21,51
14	06/08/04	261,3	232,4	92	169,3	140,4	20,58
15	09/08/04	261,9	234,8	92	169,9	142,8	18,97
16	13/08/04	262,9	233,7	92	170,9	141,7	20,60
17	17/08/04	234,6	207,8	92	142,6	115,8	23,14
18	20/08/04	257,4	227,7	92	165,4	135,7	21,88
19	23/08/04	248,3	222,5	92	156,3	130,5	19,77
20	27/08/04	263,2	239,3	92,3	170,9	147	16,25
21	30/08/04	259,6	234,2	92	167,6	142,2	17,86
22	04/09/04	230	209	92	138	117	17,94
23	06/09/04	249,6	228,4	92	157,6	136,4	15,54
24	10/09/04	240,2	222,9	92	148,2	130,9	13,21
25	13/09/04	247	226,8	92	155	134,8	14,98
26	17/09/04	245,3	228	92,3	153	135,7	12,74
27	20/09/04	238,7	222,4	92	146,7	130,4	12,50
28	24/09/04	256,1	233,6	92	164,1	141,6	15,88
29	28/09/04	241	220,1	92	149	128,1	16,31
30	04/10/04	239,4	225,2	92	147,4	133,2	10,66
31	12/10/04	250,6	221,4	92	158,6	129,4	22,56
32	15/10/04	247,8	221	92	155,8	129	20,77
33	19/10/04	253,2	225,2	92	161,2	133,2	21,02
34	22/10/04	246,8	222,9	92	154,8	130,9	18,25
35	26/10/04	246,5	225,4	92	154,5	133,4	15,81
36	29/10/04	234,6	217,7	92	142,6	125,7	13,44
37	02/11/04	228,4	205,3	92	136,4	113,3	20,38

Donde: PBH: peso bruto húmedo; PBS: peso bruto seco.

En la figura 17 se observa la evolución de la humedad gravimétrica en el suelo durante el desarrollo del cultivo. En este gráfico podemos observar que en los primeros estadios del cultivo, cuando la demanda hídrica era relativamente baja, la programación del riego fijada permitía mantener un umbral de riego elevado (12 % desde capacidad de campo) planteado como uno de los objetivos en este trabajo. A partir de los 83 días después de la siembra (oportunidad de muestreo 20), la programación de riego comenzó a perder eficiencia, en respuesta de una demanda hídrica mayor, no logrando mantener el umbral de riego fijado y llegando a su valor mas bajo (53 % desde capacidad de campo) a los 121 días después de siembra (oportunidad de muestreo 30).

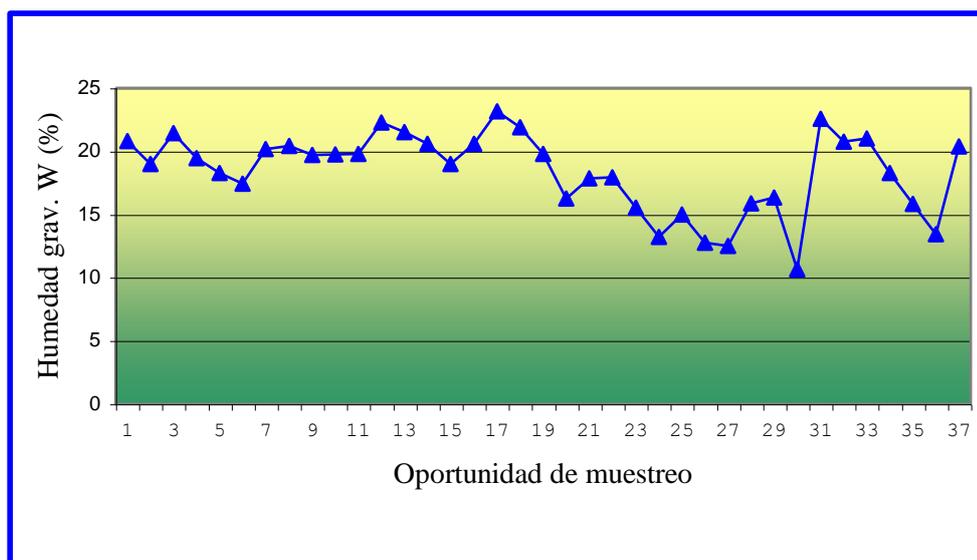


Figura 17: Evolución la humedad gravimétrica. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

3.3. Evolución del contenido hídrico del suelo durante el desarrollo del cultivo según determinaciones de sensores de resistencia eléctrica.

En cada oportunidad de muestreo, también se registraron (Tabla 9) las lecturas de los sensores de resistencia eléctricas ubicados en la parcela con riego de agua limpia.

Tabla 9: Registros de los sensores de resistencia eléctrica. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

MUESTREO	FECHA	UBICACIÓN	LECTURA (cbs)
1	22/06/04	0.08-0.15 m	37*
		0.23-0.30 m	49
		0.43-0.50 m	30
2	25/06/04	0.08-0.15 m	40,5*
		0.23-0.30 m	49
		0.43-0.50 m	30
3	28/06/04	0.08-0.15 m	43*
		0.23-0.30 m	51
		0.43-0.50 m	30

continúa

4	02/07/04	0.08-0.15 m	44*
		0.23-0.30 m	53
		0.43-0.50 m	30
5	05/07/04	0.08-0.15 m	46*
		0.23-0.30 m	56
		0.43-0.50 m	31
6	09/07/04	0.08-0.15 m	43*
		0.23-0.30 m	53
		0.43-0.50 m	31
7	12/07/04	0.08-0.15 m	47*
		0.23-0.30 m	55
		0.43-0.50 m	31
8	15/07/04	0.08-0.15 m	52,5*
		0.23-0.30 m	57
		0.43-0.50 m	31
9	19/07/04	0.08-0.15 m	52,5*
		0.23-0.30 m	58
		0.43-0.50 m	30
10	23/07/04	0.08-0.15 m	71*
		0.23-0.30 m	88
		0.43-0.50 m	31
11	26/07/04	0.08-0.15 m	42*
		0.23-0.30 m	113
		0.43-0.50 m	30
12	30/07/04	0.08-0.15 m	30,5*
		0.23-0.30 m	30
		0.43-0.50 m	30
13	02/08/04	0.08-0.15 m	31*
		0.23-0.30 m	31
		0.43-0.50 m	30
14	06/08/04	0.08-0.15 m	30*
		0.23-0.30 m	36
		0.43-0.50 m	31
15	09/08/04	0.08-0.15 m	30,5*
		0.23-0.30 m	36
		0.43-0.50 m	31
16	13/08/04	0.08-0.15 m	38,5*
		0.23-0.30 m	50
		0.43-0.50 m	30
17	17/08/04	0.08-0.15 m	38,5*
		0.23-0.30 m	48
		0.43-0.50 m	30
18	20/08/04	0.08-0.15 m	30,5*
		0.23-0.30 m	39
		0.43-0.50 m	30
19	23/08/04	0.08-0.15 m	38,5*
		0.23-0.30 m	37
		0.43-0.50 m	31

continúa

20	27/08/04	0.08-0.15 m	63,5*
		0.23-0.30 m	55
		0.43-0.50 m	30
21	30/08/04	0.08-0.15 m	97*
		0.23-0.30 m	100
		0.43-0.50 m	30
22	04/09/04	0.08-0.15 m	98*
		0.23-0.30 m	100
		0.43-0.50 m	30
23	06/09/04	0.08-0.15 m	93*
		0.23-0.30 m	103
		0.43-0.50 m	30
24	10/09/04	0.08-0.15 m	106*
		0.23-0.30 m	85
		0.43-0.50 m	30
25	13/09/04	0.08-0.15 m	125*
		0.23-0.30 m	99
		0.43-0.50 m	30
26	17/09/04	0.08-0.15 m	143*
		0.23-0.30 m	131
		0.43-0.50 m	31
27	20/09/04	0.08-0.15 m	132*
		0.23-0.30 m	125
		0.43-0.50 m	31
28	24/09/04	0.08-0.15 m	152*
		0.23-0.30 m	143
		0.43-0.50 m	32
29	28/09/04	0.08-0.15 m	159*
		0.23-0.30 m	149
		0.43-0.50 m	45
30	04/10/04	0.08-0.15 m	156*
		0.23-0.30 m	164
		0.43-0.50 m	67
31	12/10/04	0.08-0.15 m	30*
		0.23-0.30 m	30
		0.43-0.50 m	31
32	15/10/04	0.08-0.15 m	41*
		0.23-0.30 m	34
		0.43-0.50 m	30
33	19/10/04	0.08-0.15 m	30,5*
		0.23-0.30 m	30
		0.43-0.50 m	30
34	22/10/04	0.08-0.15 m	30*
		0.23-0.30 m	35
		0.43-0.50 m	31
35	26/10/04	0.08-0.15 m	52*
		0.23-0.30 m	42
		0.43-0.50 m	35

continúa

36	29/10/04	0.08-0.15 m	78*
		0.23-0.30 m	52
		0.43-0.50 m	43
37	02/11/04	0.08-0.15 m	119*
		0.23-0.30 m	129
		0.43-0.50 m	56

*Valor promedio de los registros obtenidos de las dos celdas ubicadas en esta posición.

En la Figura 18 se describe la evolución de los registros de los sensores de resistencia eléctrica a diferentes profundidades durante el desarrollo del cultivo. En primer lugar se puede observar que la variación del contenido hídrico es mas inestable en los primeros 30 cm del perfil de suelo. Considerando la programación del riego, los sensores registran una variación similar a la obtenida por la metodología de determinación directa en el gráfico de la figura 17. Si bien para los primeros estadios se logró mantener un umbral de riego relativamente alto, a partir de la oportunidad de muestreo 20 se comenzó a mantener una tendencia, que con la programación de riego abordada no se pudo revertir hasta el evento de una precipitación importante (54 mm) ocurrida entre las oportunidades de muestreo 30 y 31 que recargó el contenido hídrico del perfil.

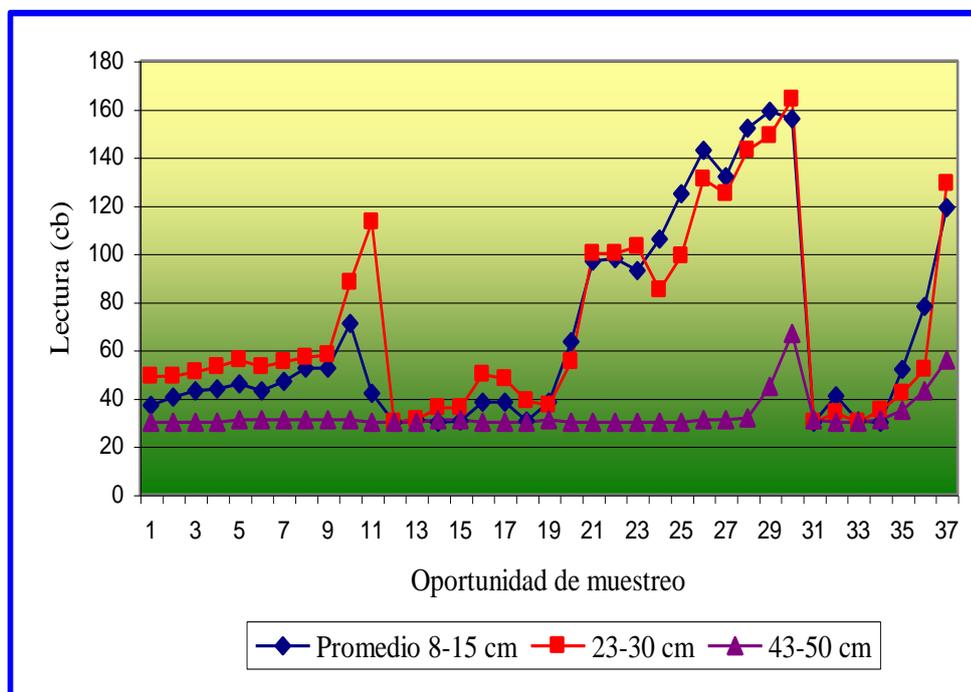


Figura 18: Evolución de los centibares durante el desarrollo del cultivo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

3.4. Comparación de la evolución de la lámina almacenada según las distintas metodologías de determinación.

Teniendo en cuenta la humedad gravimétrica (W%) y la lectura del sistema Watermark (cb), se calculó la lámina almacenada para cada oportunidad de muestreo durante el desarrollo del cultivo (Figura 19). En este gráfico podemos apreciar como ambas metodologías describen de manera similar la evolución de la lámina almacenada en el perfil de suelo.

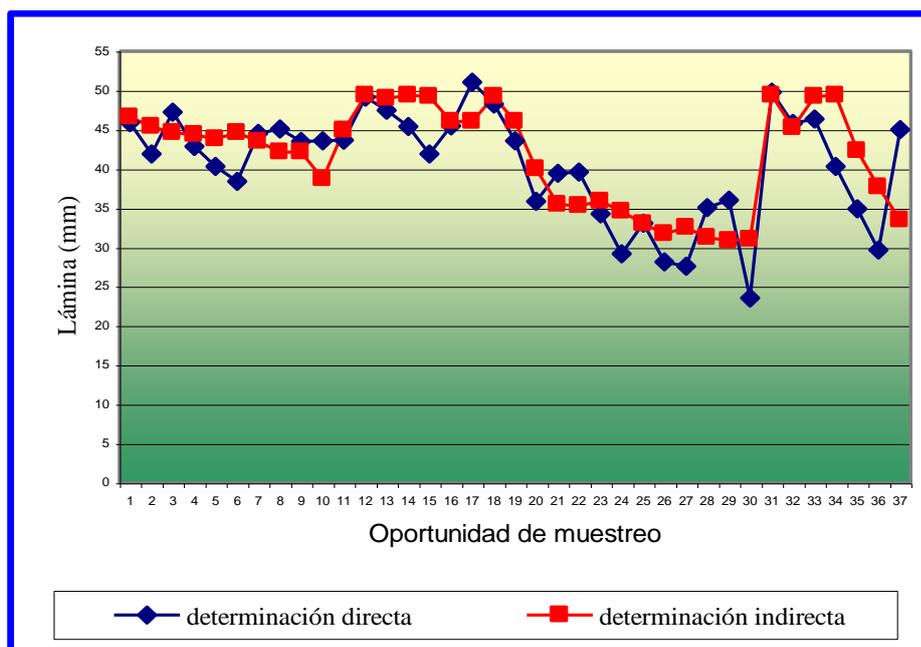


Figura 19: Evolución de la lámina almacenada para los primeros 15 cm. de suelo durante el desarrollo del cultivo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En la figura 20 se muestran los resultados obtenidos al someter los datos de las dos metodologías de determinación de lámina almacenada a un análisis de regresión. En primer lugar se puede apreciar que existe una relación positiva entre estas variables, es decir que una mayor lámina registrada por los sensores de resistencia eléctrica corresponde a una mayor lámina almacenada en el suelo determinada por medición directa. Por otro lado se puede observar la dispersión de los valores registrados; esto representa que no toda la variación de la lámina almacenada por medición directa es explicada por los sensores de resistencia eléctrica. Además, con el valor del coeficiente de determinación R^2 , podemos decir que la variación registrada por los sensores de resistencia eléctrica explica 60 % de la variación de la lámina almacenada por determinación directa.

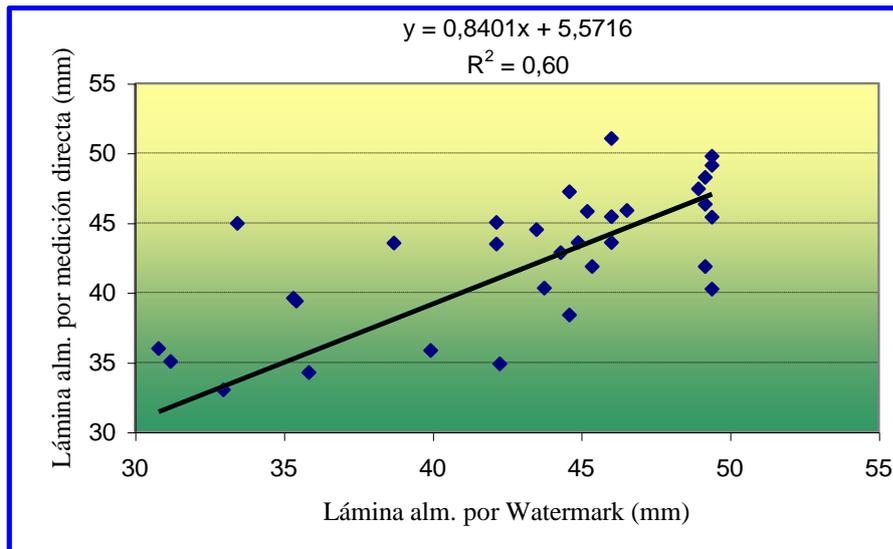


Figura 20: Análisis de regresión de los registros entre las dos metodologías de determinación de lámina almacenada en el suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

3.5. Evolución de la densidad aparente durante el desarrollo del cultivo.

Del seguimiento de la densidad aparente (D_a) en los primeros 15 cm de profundidad del perfil se obtuvo un promedio de $1,43 \text{ gr cm}^{-3}$. Es importante aclarar que en los muestreos 17, 22 y 37 existe una diferencia muy marcada con los demás registros por errores de muestreo; la causa principal de este problema es por una importante compactación del suelo que provoca un resquebrajamiento de las muestras extraídas dentro del cilindro. La evolución durante el desarrollo del cultivo se observa en la Figura 21; en ella podemos observar, sin considerar los puntos extremos, que la D_a tiende a mantenerse estable en el transcurso del tiempo.

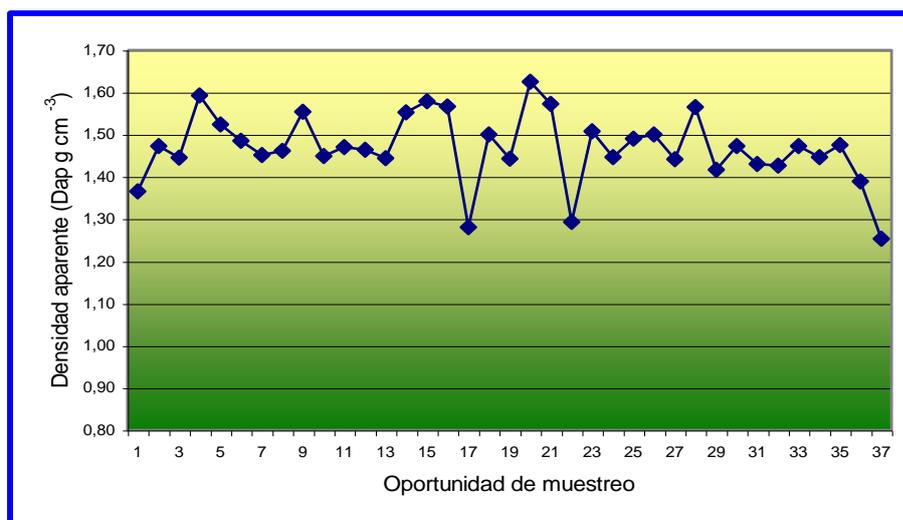


Figura 21: Evolución de la densidad aparente del suelo durante el desarrollo del cultivo en los primeros 15 cm de profundidad. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

3.6. Determinación del Kc.

Los valores de Kc han sido determinados para numerosos cultivos herbáceos al aire libre (Doorenbos y Pruitt, 1977; Pruitt *et al.*, 1987; Wright, 1982; Grattan *et al.*, 1998). Sin embargo, es escasa la información documentada específicamente para el cultivo de colza. En este trabajo se determinó el Kc para los diferentes estadios del cultivo considerando la ecuación propuesta por Grassi (1980).

En la tabla 10 se observan los datos utilizados y los resultados obtenidos para determinar la curva de kc (coeficiente de cultivo) en función del tiempo (Figura 22). En esta podemos observar como cambia la demanda hídrica del cultivo en el transcurso del tiempo, alcanzando los máximos valores en el período crítico que va desde los 80 a los 140 días después de siembra, coincidiendo con los estadios de floración-llenado de granos.

Tabla 10: Datos y resultados para determinar la curva de Kc. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

MES	DIAS	DIAS ACUMULADOS	TIEMPO RELATIVO (%)	Kc
Junio	25	25	14,88	0,46
Julio	31	56	33,33	0,77
Agosto	31	87	51,78	0,95
Septiembre	30	117	69,64	0,99
Octubre	31	148	88,10	0,88
Noviembre	20	168	100	0,73

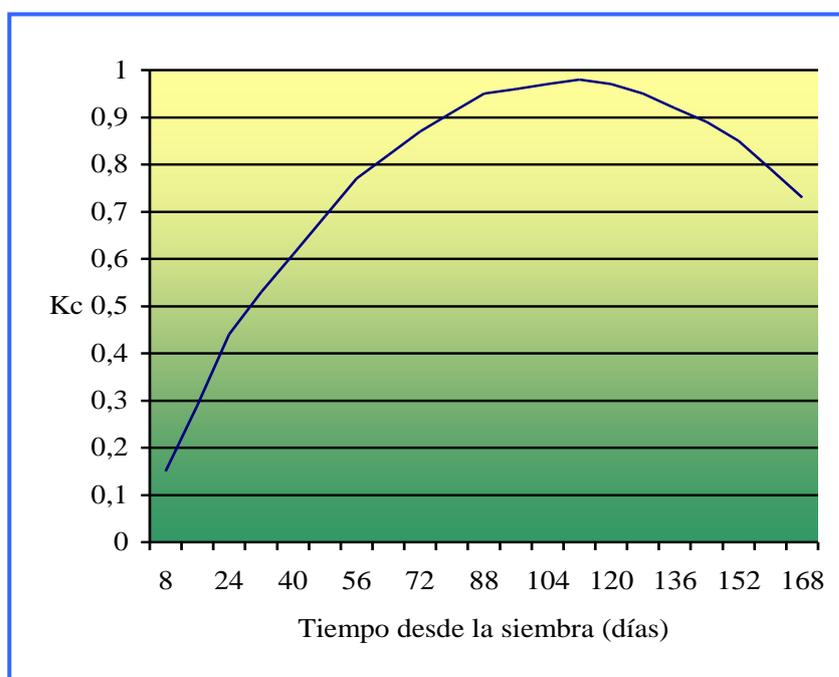


Figura 22: Curva de Kc correspondiente al ciclo del cultivo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

3.7. Eficiencia en el uso del agua.

En la tabla 11 se detallan las láminas netas de agua recibida por el cultivo según la condición hídrica correspondiente.

Tabla 11: Agua recibida por el cultivo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

APORTES HÍDRICOS	AGUA LIMPIA	AGUA RESIDUAL	SECANO
Precipitación efectiva	112,8	112,8	112,8
Riego por Aspersión	6,4	6,4	6,4
Riego Subterráneo	235,2	235,2	0
Total lámina neta	354,4	354,4	119,2

Los resultados de EUA (Eficiencia en el Uso del Agua) se observan en la tabla 12; estos difieren con lo expuesto por Walton *et al.*, 1999; donde sostienen que en Australia la eficiencia en el uso del agua para la producción potencial de semilla en colza está generalmente entre 1 y 1,2 kg m⁻³; al mismo tiempo están en el orden de lo obtenido por Crespi (2003), con registros de 0,55 kg m⁻³ y 0,67 kg m⁻³ para agua limpia y agua residual respectivamente. También podemos observar que, independientemente del cultivar considerado, las parcelas de colza en condiciones de secano resultaron ser en esta experiencia mas eficientes en el uso del agua que las parcelas bajo riego; no obstante, estas diferencias no son estadísticamente significativas al nivel del 5%.

Tabla 12: Eficiencia en el uso del agua en kg m⁻³. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

	AGUA LIMPIA	AGUA RESIDUAL	SECANO
EUA kg m ⁻³	0,62 a	0,64 a	0,87 a

Nota: Valores medios seguidos por diferentes letras minúsculas dentro de una misma fila, difieren significativamente según el Test LSD.

3.8. Evaluación de los componentes de rendimiento.

En la tabla 13 se expresan los valores promedios de los componentes del rendimiento (densidad de plantas, silicuas por planta y número de granos por silicua) y altura de despegue para cada condición hídrica y cultivar correspondiente. Es importante destacar que para medir altura de despegue y silicuas por planta, se seleccionó un número de plantas igual al 5% de la densidad poblacional (plantas m⁻²). Además el número de granos por silicua se determinó sobre el 10% de silicuas presentes en cada una de las plantas seleccionadas en el paso anterior.

Realizando el análisis estadístico para cada condición hídrica, se observa (Tabla 13) que cuando se riega con agua limpia sólo se presentaron diferencias significativas al nivel del 5% en el número de granos por silicuas. Cuando se regó con agua residual tratada no hay diferencias significativas para las tres variables estudiadas y bajo la condición de secano se mostraron diferencias estadísticamente significativas para el despegue y el número de granos por silicua.

Tabla 13: Resultados de la evaluación de plantas con respecto a componentes de rendimiento y altura de despegue. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CONDICIÓN HÍDRICA	CULTIVAR	DENSIDAD (PLANTAS/m ²)	DESPEGUE (cm)	SILICUAS/ PLANTA	GRANOS/ SILICUA
Agua Limpia	SW-Eclipse	67	54,2 A	72,9 A	16,7 A
	Master	51	53,4 A	58,8 A	20,41 B
Agua Residual	SW-Eclipse	84	49,8 A	54,3 A	16,53 A
	Master	78,3	50,2 A	60,1 A	16,6 A
Secano	SW-Eclipse	68	34,43 A	44,7 A	15,3 A
	Master	41,6	25,3 B	43,3 A	18,3 B

Nota: Valores medios seguidos por diferentes letras mayúsculas dentro de una misma columna para cada condición hídrica, difieren significativamente según el Test LSD.

En el momento en que se realizó la trilla del material cortado se estimó, con los resultados obtenidos, el equivalente de rendimiento en kg ha⁻¹ (Tabla 14).

Tabla 14: Resultados obtenidos en la trilla. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CONDICIÓN HÍDRICA	RENDIMIENTO (kg ha ⁻¹)	
	Eclipse	Master
Agua Limpia	2858	1971
Agua Residual	2734	2690
Secano	920	1012
Agua Limpia	2448	2095
Agua Residual	2597	2257
Secano	960	609
Agua Limpia	3145	1036
Agua Residual	1894	1710
Secano	1600	1121

3.9. Análisis estadísticos de los resultados de rendimiento.

Tomando el rendimiento como la variable de mayor importancia en este estudio, se procedió a analizar los factores que mas afectaron su comportamiento obteniéndose los siguientes resultados:

3.9.1. Análisis general de rendimiento.

El análisis de varianza (Tabla 15) se realizó siguiendo la metodología desarrollada y ampliamente aplicada en experimentación agrícola por D' Alvia (2002); pudiendo comprobar separadamente la influencia de los diferentes factores controlables (Condición Hídrica y Cultivares) y las interacciones de estos factores (Condición Hídrica*Cultivares), facilitando de este modo la identificación de algunas de las causas de variación en el rendimiento.

Tabla 15: Análisis de varianza para rendimiento. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FUENTE	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1721609	860805		
CH	2	6251522	3125761	35.56	0.0028
Error REP*CH	4	351623	87906		
CRES	1	1203835	1203835	43.05	0.0006
CH*CRES	2	810010	405005	14.48	0.0051
Error REP*CH*CRES	6	167791	27965		
Total	17	1.050E+07			

Donde: DF: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; MS: cuadrado medio; REP: repeticiones; CH: condición hídrica; CRES: cultivares.

Grand Mean=1869.8; CV(REP*CH)= 15.86; CV(REP*CH*CRES)= 8.94

Donde: Grand Mean: media general de rendimiento; CV: coeficiente de variación.

Como puede observarse, la media general para el rendimiento, considerando las diferentes CH: 1, 2 y 3, y los distintos CRES: 1 y 2, alcanza los 1869,8 kg ha⁻¹, y de acuerdo al análisis de la varianza, el coeficiente de variación del rendimiento para las tres CH evaluadas fue de 15,86 %. Al mismo tiempo, cuando se analiza el rendimiento teniendo en cuenta la interacción entre las condiciones hídricas y los cultivares de colza ensayados, se observa que el coeficiente de variación es de 8,94 %.

Estos resultados están en el orden del rendimiento medio alcanzado a nivel nacional, según los registros de la Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGPYA, 2004) para la campaña 2004 en el cultivo de colza el cual fue de 1573 kg ha⁻¹.

Posteriormente se realizó un análisis de comparación de medias a través del LSD All-Pairwise Comparisons Test, para ambas fuentes (Tabla 16 y Tabla 17) de variación obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 16: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada condición hídrica. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CONDICIÓN HIDRICA	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
Riego con Agua Residual	2313.7	A
Riego con Agua Limpia	2258.8	A
Secano	1037.0	B

Apha 0.05 Error estándar para comparación 171.18

Valor T crítico 2.776 Valor crítico para comparación 475.27

Término de error usado: REP*CH, 4 DF

Tabla 17: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CULTIVAR	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
SW-Eclipse	2128.4	A
Master	1611.2	B

Alpha 0.05 Error estándar para comparación 78.832
 Valor T crítico 2.447 Valor crítico para comparación 192.89
 Término de error usado: REP*CH*MAT, 6 DF

Como puede observarse, existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento entre el sistema de producción en secano y los rindes generados en las dos situaciones en las cuales se realiza riego artificial (Tabla 16).

Analizando la producción de colza solamente bajo riego, estos resultados concuerdan con lo obtenido por Fernández Fernández *et al.* (2002) en otras especies, en donde no han detectado influencia de diferentes tipos de agua (limpia y tratada) sobre la producción vegetal bajo riego; aunque la aplicación de agua tratada, permitió un ahorro importante en el aporte de fertilizantes; concretamente 56.8 % de nitrógeno y 15.7 % de potasio. No obstante, en estudios similares realizados por Crespi *et al.* (2004) se encontraron diferencias significativas en los rendimientos promedios alcanzados por una asociación varietal de colza denominada Mistral (Nidera, 1998; Cargill, 1991), entre los tratamientos regados con agua tratada versus tratamientos regados con agua limpia.

Asimismo, en el caso de la evaluación del comportamiento de los cultivares SW-Eclipse y Master, se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de rendimiento alcanzados (Tabla 17). Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Iriarte (2004) desde el punto de vista estadístico, donde el híbrido SW-Eclipse supera los rendimientos de la variedad Master.

3.9.2. Análisis de los rendimientos para la condición hídrica de Secano.

Tabla 18: Análisis de varianza de rendimiento para Secano. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FUENTE	DF	SS	MS	F	P
REP	2	363019	181510		
CRES	1	90774	90774	2.46	0.2570
Error	2	73659	36830		
Total	5	527452			

Grand Mean= 1037.0; Cv =18.51

Tabla 19: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CULTIVAR	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
SW-Eclipse	1160.0	A
Master	914.0	A
Alpha	0.05	Error estándar para comparación 156.69
Valor T crítico	4.303	Valor crítico para comparación 674.20
Término de error usado: REP*MAT, 2DF		

Atendiendo los estudios estadísticos del cultivo bajo condiciones de secano, se concluye que las diferencias de rendimiento entre cultivares de colza no resultó significativa (Tabla 19); no obstante, puede apreciarse el mejor comportamiento agronómico de SW-Eclipse que logró un mayor rendimiento que la variedad Master.

3.9.3. Análisis de los rendimientos para la condición hídrica de Agua Residual.

Tabla 20: Análisis de varianza de rendimiento para Agua Residual. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FUENTE	DF	SS	MS	F	P
REP	2	866633	433317		
CRES	1	53771	53771	4.90	0.1572
Error	2	21925	10963		
Total	5	942329			

Grand Mean= 2313.7; **Cv**= 4.53

Tabla 21: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CULTIVAR	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
SW-Eclipse	2408.3	A
Master	2219.0	A
Alpha	0.05	Error estándar para comparación 85.489
Valor T crítico	4.303	Valor crítico para comparación 367.83
Término de error usado: REP*MAT, 2DF		

Cuando se evaluaron los dos cultivares en la condición hídrica de riego con agua residual (Tabla 21) no se observaron diferencias significativas en los rendimientos. Sin embargo, se observan diferencias significativas entre estos valores y los de rendimiento obtenidos en la condición hídrica de secano (Tabla 18), ya que cuando se le aplicó riego con agua residual (Tabla 20) el valor medio del rendimiento aumentó un 120 % y el coeficiente de variación del mismo se redujo en un 76 %.

3.9.4. Análisis de los rendimientos para la condición hídrica de Agua Limpia.

Tabla 22: Análisis de varianza de rendimiento para Agua Limpia. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FUENTE	DF	SS	MS	F	P
REP	2	843580	421790		
CRES	1	1869300	1869300	51.78	0.0188
Error	2	72206	36103		
Total	5	2785087			

Grand Mean= 2258.8; **Cv**= 8.41

Tabla 23: LSD All-Pairwise Comparisons Test de rendimiento para cada cultivar. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CULTIVAR	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
SW-Eclipse	2817.0	A
Master	1700.7	B

Alpha 0.05 Error estándar para comparación 155.14

Valor T crítico 4.303 Valor crítico para comparación 667.52

Término de error usado: REP*MAT, 2DF

Por último, y siguiendo con el criterio de estudiar en forma separada cada condición hídrica, cuando se analizó el comportamiento de los cultivares bajo agua de perforación, pudo comprobarse la existencia de diferencias significativas para el rendimiento alcanzado entre el híbrido SW Eclipse y la variedad Master (Tabla 23).

Por otro lado, en esta condición hídrica, el rendimiento medio general de los materiales es algo menor (3 %) al del rendimiento medio general que presentan los mismos en la condición hídrica de agua residual; pero debe destacarse que siendo prácticamente igual los rendimientos generales el coeficiente de variación bajo riego con agua limpia es aproximadamente un 50 % mayor que bajo riego con agua residual tratada.

4. CONCLUSIONES

- Los sensores de resistencia eléctrica son una herramienta práctica y sencilla que brindan una buena confiabilidad en los resultados de determinación del contenido hídrico del suelo, permitiendo una eficiente programación de riego.

- Para lograr mantener un elevado umbral de riego previsto en la planificación de este ensayo, no se debe fijar una manera rígida de operación sin flexibilizar el manejo en función del avance del ciclo del cultivo.

- El rendimiento promedio de este ensayo nos permite inferir que, bajo ciertas condiciones, este cultivo constituye una alternativa productiva para los sistemas agrícolas de la región, siendo una nueva opción de diversificación que lleva asociado un gran potencial, entre otras cosas, atendiendo a las nuevas industrias biotecnológicas como es la producción de biodiesel.

- El cultivo de colza responde, en la región productiva de Río Cuarto, con diferencias muy significativas cuando se produce bajo riego, en comparación con su cultivo en condiciones de secano.

- El empleo del riego subterráneo con aguas residuales tratadas, es una alternativa tecnológicamente válida para incorporar en este esquema productivo, con la variedad adecuada, teniendo en cuenta por un lado su efectividad en cuanto a los registros de buenos rendimientos bajo esta condición y, por otro, el hecho de la seguridad de manejo al tratarse de un cultivo industrial.

- El riego artificial es una variable de gran influencia en la producción, siendo menor la variabilidad de los resultados productivos cuando se incorpora al análisis de diferentes condiciones hídricas el empleo de distintos cultivares. Es decir que las diversas condiciones hídricas evaluadas explican en mayor medida las diferencias en los rendimientos, que los distintos cultivares evaluados, ya que si bien éstos últimos aportan variabilidad en los rendimientos, su influencia en dicha variación es menor.

- De los dos cultivares analizados SW-Eclipse mostró diferencias significativas bajo condiciones de riego; más aún cuando se regó con agua residual tratada, alcanzando la mayor producción y el menor porcentaje de variabilidad pues con su aporte balanceado de nutrientes se reduce la demanda a nivel edafológico. Además, su comportamiento general supera a la variedad Master independientemente de la condición hídrica; no obstante, se considera necesario continuar con su evaluación a nivel local para contar con la información necesaria para recomendar la siembra de este cultivar en los sistemas productivos de la zona.

- Finalmente es importante destacar la necesidad que se continúen los ensayos de cultivo de colza en el sur de la provincia de Córdoba, para ajustar a nivel local, las variables que mas afectan el rendimiento del cultivo, favoreciendo su posterior difusión en la región como un “paquete tecnológico” que incluya no solo nuevos cultivares sino también el conjunto de técnicas de manejo recomendadas para optimizar su producción frente a diferentes condiciones.

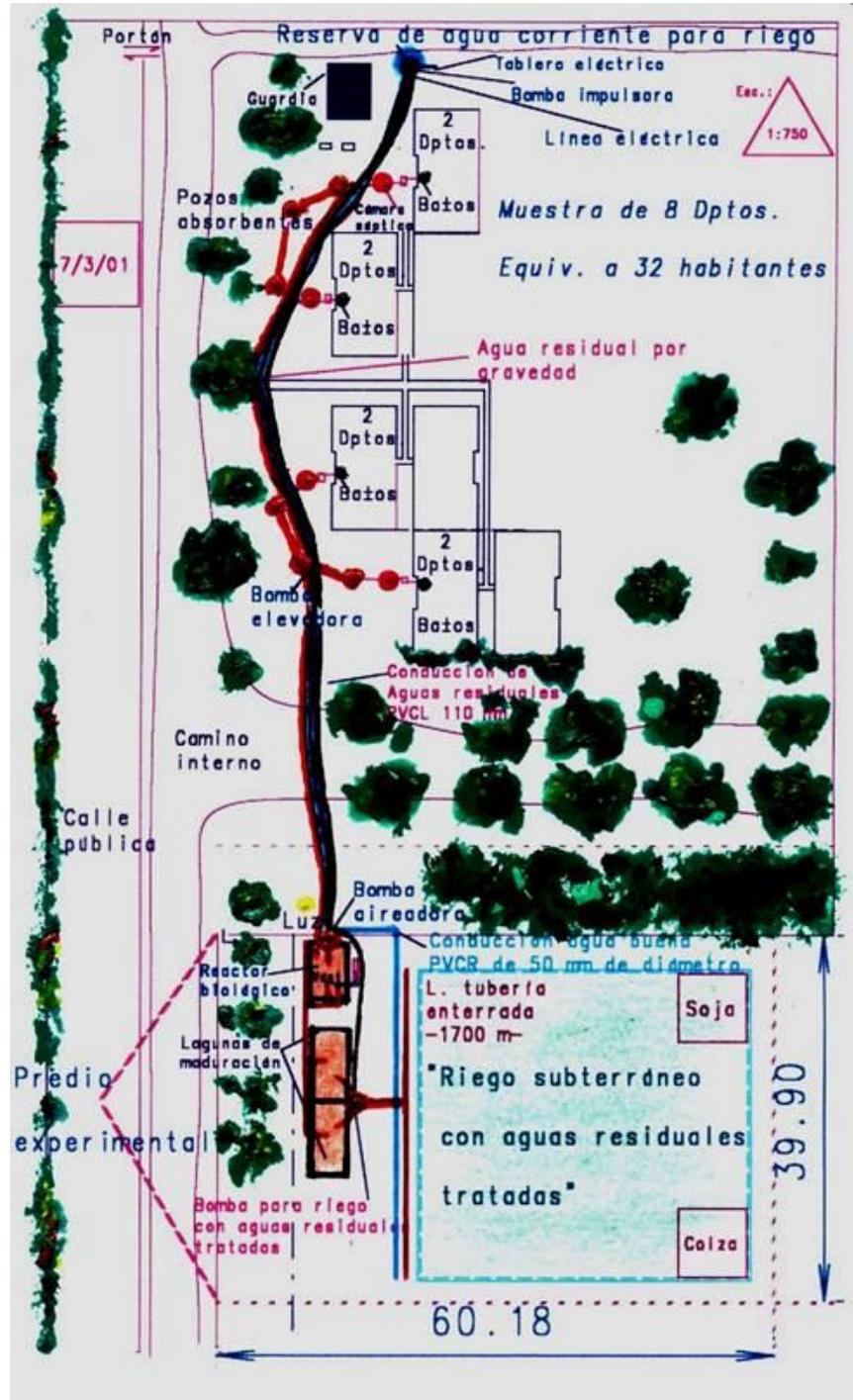
BIBLIOGRAFIA

- CARGILL SEMILLAS 1991. Propuestas 1991. C"OO"LZA. **“Sea protagonista de una interesante alternativa”**. 22 pág.
- CARLILE, P. E. y A. SANJINES. 1995. **“Subsurface trickle irrigation system for on site wastewater disposal and reuse”**. Geoflow.
- CEPIS 1995. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –Introducción y uso de Aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura. Riego y Salud. Modernización y Avances en el uso de Aguas Negras para la Irrigación. Intercambio de Aguas Uso Urbano y Riego. Por Ing. Rodolfo Sáenz Forero, asesor de la División de Salud y Ambiente OPS/OMS- En: www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html. Consultado: 02-07-2006.
- CRESPI, R. 2003. **“Riego subterráneo con aguas residuales tratadas”**. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- CRESPI, R. 2005a. **“Reutilización de aguas residuales en la producción agrícola”**. Rev. Hydria. Año I. Nº 3. Pag. 10. Buenos Aires.
- CRESPI, R. 2005b. **“El Biodiesel. Combustible del futuro”**. Conferencia en Estancia La Amalia. Grupo CREA Washington-Mackena. Córdoba.
- CRESPI, R.; C. RODRÍGUEZ, O.PLEVICH, L. GROSSO; M. BOSSOLASCO; C. FRIGERIO; S. BETTERA; A.THUAR; J. BOEHLER; J. PUIATTI; O. BAROTTO; M. DEMAESTRI; A. RICOTTO; D. RAMOS, D. PICCA. 2004. **“Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Domiciliarias”**. XX Congreso Nacional del Agua. Libro de resúmenes. Pag. 76. Mendoza.
- CROOK, J. y R. Y. SURAMPALLI 1996. **“Water Reclamation and reuse criteria in the USA”**. Water Sci. Technol. Vol 33 (10-11). pp. 451-462.
- D'ALVIA, A. L. 2002. **“Elementos de probabilidad y estadística”**. Universidad de Morón. Facultad de Ingeniería. Morón. 144 pág.
- DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS (DGOH). 1992. **“Tecnologías de Bajo Costo para la Depuración de Aguas Residuales”**. Consej. Obras Púb. y Trans. 27 pág. España.
- DOORENBOS, J. y W. O. PRUITT 1977. **“Las necesidades de agua de los cultivos”**. FAO Riego y Drenaje, n°24.
- ETCHEVEHERE, P. 1976. **“Normas de Reconocimiento de Suelos”**. 2 edición actualizada. INTA, Castelar.
- FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, M^a. D.; J. L. CONTRERAS PARIS; M^a. J. POLO GOMEZ 2002. **“Efectos del rendimiento de cultivos hortícolas producidos por el uso del agua residual depurada para riego”**. XX Cong. Nac. de Riegos. Pág. 71-73.

- GIL, R. C. y A. GARAY 2001. **“La Siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo”**. Siembra directa II J. L. Panigatti, D. Buschiazzo, H.Marelli (Editores). Bs. As.
- GRASSI, C. 1980. **“Diseño y operación de riego por superficie”**. Serie Riego y Drenaje 36. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Venezuela.
- GRATTAN S.R., W. GEORGE, W. BOWERS, A. DONG, R.L. SNYDER, J. CARROL. 1998. **“New crop coefficients estimate water use of vegetables row crops”**. California Agriculture vol. 52(1): 16-20.
- HERNÁNDEZ MUÑOZ, A.; A. HERNÁNDEZ LEHMANN y P. GALÁN MARTÍNEZ 1996. **“Manual de Depuración Uralita”**. Ed. Paraninfo. 429 pág. España.
- HUSSAIN, G. y A.A. AL-JALOUD 1998. **“Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia”**. Agric. Wat. 36: 55-70.
- IRIARTE, L. 2004. **“Evaluación cultivares de colza campaña 2003/04”**. Chacra Experimental Integrada Barrow. INTA. Bs. As.
- IWMI 2006 International Water Management Institute – Como producir mas alimentos con menos agua – En: www.iwmi.cgiar.org/spanish/sp_product.htm Consultado:05/07/2006.
- LAMM, F.R. 2002. **“Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation”**. K-Research Ext. Center. 13 pág.
- MASSA LÓPEZ, M.P. 1988. **“Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales. Lagunas de estabilización”**. Min. de Agric. IRYDA. 16 pág. España.
- NIDERA SEMILLAS. 1998. **“Manual de colza”**. 24 pág.
- ORON, G.; Y DEMALACH, Z. HOFFMAN, Y. KAREN; H. HARTMAN y N. PLAZNER. 1991. **“Wastewater disposal by subsurface trickle irrigation”**. Water Sci. Tech. 23:2149-2158.
- ORON, G.; Y. DEMALACH; Z. HOFFMAN y Y. MANOR. 1992. **“Secondary wastewater reuse”**. Wat. and Irrig. Rev. 12(4):10-14.
- PRUITT W.O., E. FERERES, K. KAITA, R.L. SNYDER. 1987. **“Reference evapotranspiration (ET_o) for California”**. Agr. Exp. Sta. Bull. 1922, Univ. of California, 16 pp.
- PUIATTI, J. 1984. **“Investigación de las relaciones entre agua y fertilización nitrogenada empleando simulaciones matemáticas”**. Universidad de los Andes. Venezuela.

- SAGPYA 2004 Estimaciones agrícolas – Oleaginosas – Colza En: www.sagpya.gov.ar . Consultado: 11-04-2006.
- SALGOT M. y A. PASCUAL 1996. “ **Existing guidelines and regulations in Spain on wastewater reclamation and reuse**”. Water Sci. Tech. Vol 34(11). pp. 261-267.
- SCHNOOR, J.; L. LIGHT; S. MACCUTCHEON; N. L. WOLFE y L. CARREIRA. 1995. “**Phytoremediation of organic y nutrient contaminants**”. Env. Sci. and Tech.. 29 (7):.6.
- SOIL SURVEY DIVISIÓN STAFF. 1993. Soil Survey Manual. Unit. St. Agric. Hyb. 18
- SURSEM 2004. **Catálogo de Colza 2004**. Ruta 32 Km. 2 – B 2700 Pergamino – Buenos Aires – Argentina.
- SURSEM 2005. **Catálogo de Colza 2005**. Ruta 32 Km. 2 – B 2700 Pergamino – Buenos Aires – Argentina.
- TARCHITZKY, J. 2004. “**Efectos de la calidad del agua en suelos y cultivos: la lógica de mejorar la calidad**”. Servicio de Extensión, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Rev. Internacional de Agua y Riego. Vol. 24. Nº 2. Pág. 29-33. Israel.
- TOZE, S. 1997. “**Microbiological Pathogens in Wastewater Literature Review for Urban Water Systems Multi-divisional Research Program**”. Tech. Rep.1/97.
- VALETTI, O. 1996. “**El cultivo de colza canola**” 1º ed. Chacra Experimental Integrada Barrow. Bs As.
- VILLAR, J. L.1998. “**Evaluación de cultivares de colza en la EEA Rafaela. Campañas 1996/1997 y 1997/1998**”. Información técnica para productores 1997/1998 INTA Rafaela. Santa Fe.
- WALTON, G., N. MENDHAM, M. ROBERTSON y T. POTTER. 1999. “**Phenology, Physiology and Agronomy**”. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia.
- WRIGHT J.L. 1982. “**New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. and Drain**”. Div., ASCE, 108 (IR2): 57-74.

ANEXO



Plano 1: Residencias Estudiantiles Universitarias. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Perspectivas Futuras

De acuerdo a la experiencia vivida en el desarrollo de esta Investigación, a continuación destacamos las siguientes sugerencias o recomendaciones que proponemos para futuros trabajos relacionados a los temas destacados:

- Sería muy importante realizar un ensayo de uniformidad en todo el campo experimental; es decir que se cultiva todo el ensayo de manera uniforme como si fuera un solo lote y posteriormente se cosecha cada parcela de forma individual . Este tipo de prueba es recomendable en cualquier campo donde se pretenda hacer comparaciones entre cultivares y manejos diferentes, ya que parte de la variación en los rendimientos obtenidos pueden responder a factores no controlables propios de cada sector dentro de cada parcela.
- Si bien existe importante información de colza en nuestro país, hay mucho que evaluar en cuanto a respuestas de este cultivo a nivel regional, como distintas fechas de siembra, distanciamiento entre hileras, cultivos antecesores, respuestas a fertilizantes, entre otras.
- En lo que respecta manejo del riego se trata de encontrar metodologías de máxima eficiencia, que sean simples de utilizar y brinden resultados satisfactorios. De aquí la comparación que se realizó en este trabajo entre las distintas metodologías de medición del contenido hídrico en el suelo, y lo importante que sería incluir otra metodología de determinación en cuanto a evapotranspiración por el cultivo, como puede ser el método de Penman- Monteith, entre otros.
- Si bien se puede decir que el cultivo de colza se adapta a las condiciones agrícolas de nuestra región y que se presenta como buena alternativa al cultivo de trigo, acompañado de los estudios de rendimientos y respuestas de manejo deberíamos sumarle análisis económicos para determinar la rentabilidad real del cultivo y de esta forma poder asegurar que la colza realmente es, o no, una excelente alternativa al cultivo de trigo para nuestros productores.