

**PROYECTO DE TRANSFORMACIÓN DE UN CAMPO DE
SECANO A REGADÍO**
PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA



Luciano Rodrigo Martinez Alanis

Tutor: Dr. Martin Eduardo Esposito

Consejeros:

- 1) Dr. Maximiliano Miguel Garay Schiebelbein
- 2) Dr. Alejandro Daniel Presotto

Consultor externo: Ing. Agr. Mariano Pla



Departamento de Agronomía
Universidad Nacional del Sur

INDICE

INDICE.....	2
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
IMPORTANCIA DEL RIEGO	5
ZONAS PRODUCTIVAS IRRIGADAS EN LA REGIÓN	5
VALLE BONARENSE DEL RIO COLORADO (VBRC)	5
Fuente hídrica y autoridades del agua	9
Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO).....	9
Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (CORFO).....	9
Consortio Hidráulico del Valle Bonaerense del Río Colorado	9
VALLES IRRIGADOS DEL RIO NEGRO	10
a) VALLE INFERIOR DEL RIO NEGRO.....	10
b) VALLE DE GENERAL CONESA.....	10
Autoridades de agua del Río Negro.....	12
Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (IAC)	12
Departamento Provincial de Aguas (DPA)	12
ESTACIONES EXPERIMENTALES DE INTA RELACIONADAS AL MANEJO DEL AGUA PARA RIEGO.....	13
Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi	13
Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro	13
OBJETIVOS	14
METODOLOGÍA EMPLEADA.....	15
1 - PROYECTOS DE SISTEMATIZACIÓN PARA LOTES DESTINADOS A RIEGO POR GRAVEDAD ..	15
Relevamiento topográfico	15
Equipos GNSS RTK	16
Software de nivelación de suelos	17
Nivelación de suelos.....	19
Diseño de canales y drenes	21
2 – ENSAYO DE EFICIENCIA DE RIEGO UTILIZANDO EL SOFTWARE WINSRFR	22
ACTIVIDADES REALIZADAS.....	24
1 - Creación del Proyecto	24
Cálculo de movimiento de tierra para canales y drenes	27
2 - Ensayo de eficiencia de riego en chacra de General Conesa	29

RESULTADOS 33

CONSIDERACIONES FINALES..... 36

BIBLIOGRAFÍA..... 37

RESUMEN

En regiones con agricultura de secano, la incorporación de sistemas de riego representa una herramienta clave para mejorar la estabilidad y el rendimiento de los cultivos. La disponibilidad hídrica controlada permite reducir la dependencia de las precipitaciones, minimizar riesgos productivos y expandir la frontera agrícola hacia zonas antes limitadas por la escasez de agua. En los últimos años, esta tecnología ha mostrado una marcada tendencia de crecimiento, con un aumento sostenido de la superficie irrigada en distintas regiones del país. Esta expansión responde a la necesidad de intensificar la producción, mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales y hacer frente a los desafíos climáticos actuales. La implementación de riego tecnificado en campos de secano no solo incrementa la productividad, sino que también abre nuevas oportunidades para la diversificación de cultivos y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

La presente tesis se enmarca en una práctica profesional supervisada (PPS), desarrollada durante el último año de la carrera de Ingeniería Agronómica. El objetivo principal del trabajo fue analizar el desarrollo de la transformación de un campo secano a uno de regadío, mediante el empleo de conocimientos teóricos y herramientas adecuadas. A lo largo de la experiencia, se realizaron relevamientos topográficos con sistemas satelitales de navegación global (GNSS), se utilizaron softwares específicos para el procesamiento de datos geoespaciales y se analizó la planificación técnica del sistema de riego, considerando aspectos agronómicos e hidráulicos. La experiencia permitió aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera en un contexto real, integrando teoría y práctica, y aportando a la mejora de la eficiencia productiva y del uso del recurso hídrico en sistemas agrícolas.

Esta práctica se realizó en distintas localidades de la provincia de Buenos Aires (Pedro Luro y Carmen de Patagones) y Río Negro (General Conesa y Viedma). Fue coordinada por el Ing. Agr. Mariano Pla el cual se dedica a la realización de proyectos de sistematización de tierras con fines de riego. Durante el desarrollo de la PPS realicé un trabajo de planialtimetría a campo, procesando los resultados para confeccionar los mapas topográficos por medio de software específicos.

Paralelamente, se llevó a cabo un trabajo en conjunto con INTA IDEVI para realizar un análisis detallado de los parámetros de eficiencia de riego, incluyendo la eficiencia de aplicación, distribución y uniformidad del agua en un lote regado por gravedad. Con la información obtenida a partir de este estudio, se procedió a trabajar en el software desarrollado por el USDA WinSRFR, con el objetivo de realizar una simulación precisa y efectuar los ajustes necesarios para optimizar el sistema de riego.

INTRODUCCIÓN

IMPORTANCIA DEL RIEGO

La actividad agropecuaria constituye uno de los pilares fundamentales de la economía argentina. A lo largo de la historia de nuestro país, el campo ha tenido un rol muy importante en el desarrollo, no solo como generador de alimentos, empleo y divisas, sino también como motor de innovación y adopción tecnológica. En un contexto global donde la demanda de alimentos continúa en aumento y el cambio climático impone nuevos desafíos, resulta imprescindible optimizar el uso de los recursos naturales y mejorar la eficiencia de los sistemas productivos (FAO, 2009).

La agricultura de secano, predominante en muchas regiones del territorio argentino, se ve frecuentemente condicionada por la variabilidad de las precipitaciones, lo que impacta directamente en la estabilidad y la productividad de los cultivos, y como consecuencia a esto, en la economía del productor agropecuario. La incorporación de sistemas de riego en estas áreas permite mejorar los rendimientos y disminuir la variabilidad interanual de los rindes (Aguilera Salinas, 2024).

Además de aumentar los rendimientos, el riego facilita la diversificación de cultivos, extiende las ventanas de siembra y cosecha, y contribuye a una mejor planificación agronómica. En los últimos años, se ha observado una creciente expansión de esta tecnología, impulsada por la necesidad de intensificar la producción y adaptarse a escenarios climáticos cada vez más inciertos (SAGyP, 2025).

Por tal motivo, resulta importante describir brevemente las principales zonas productivas bajo riego cercanas al área de estudio, con el fin de contextualizar el trabajo y comprender mejor la importancia del riego en la zona.

ZONAS PRODUCTIVAS IRRIGADAS EN LA REGIÓN

VALLE BONARENSE DEL RIO COLORADO (VBRC)

El VBRC es una zona productiva importante de nuestro país, está ubicada en el extremo sur de la provincia de Buenos Aires. Se encuentra entre los 39° y 40° de latitud sur y entre los 62° y 63° de longitud oeste. Abarca el sector sur del partido de Villarino y el sector norte de Patagones (Figura 1). Tiene una extensión de 78 kilómetros en sentido norte-sur y de 103 kilómetros de oeste-este. Dentro de esta zona se encuentran las localidades de Mayor Buratovich, Hilario Ascasubi y Pedro Luro, pertenecientes al partido de Villarino, y Juan A. Pradere, Igarzábal y Villalonga, ubicadas en el partido de Patagones.

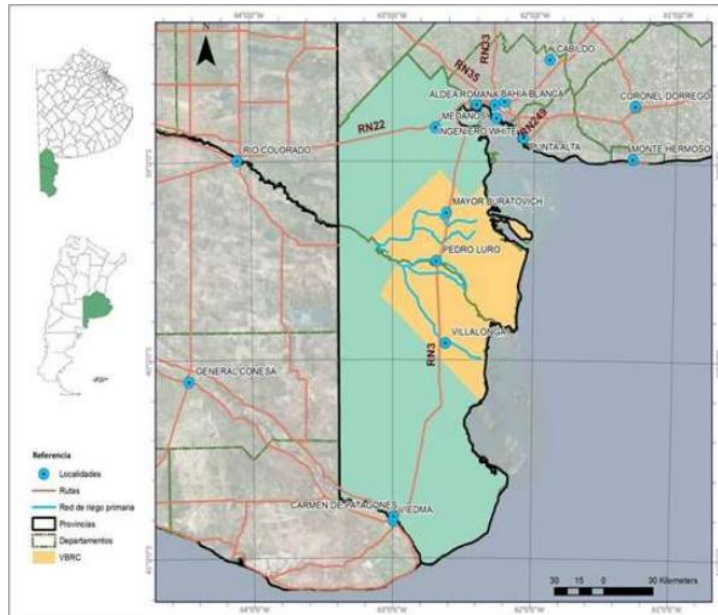


Figura 1. Valle bonaerense del río Colorado (VBRC).

El río Colorado nace de la confluencia de los ríos Barranca y Grande, en la cordillera de los Andes. Atraviesa la provincia de Buenos Aires de oeste a este, en el límite de los partidos Villarino y Patagones, y finalmente termina su recorrido en el mar (Figura 2). Durante su recorrido, desde las nacientes a la desembocadura, el curso principal atraviesa cinco provincias que mencionamos a continuación: Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires (Abeucci y Sarafian, 2006).



Figura 2. Curso del río Colorado.

El clima de esta zona se caracteriza por fuertes vientos, bajas temperaturas y escasa humedad. El período libre de heladas es de 200 a 260 días. Los vientos predominantes vienen del Noroeste, con una velocidad promedio de 27 km/h. En cuanto a las precipitaciones, el régimen hídrico está caracterizado por la irregularidad de estas, varían entre 680 y 280 mm con una media, siendo la media de 490 mm (Bongiovanni, 2020).

El regadío comprende partes de los Partidos de Villarino y Patagones, sobre las márgenes izquierdo y derecho, respectivamente, del río Colorado, envolviendo una superficie de 516.641 ha, correspondiéndole al partido de Patagones 211.297 ha y al partido de Villarino 305.344 ha. De este total, 140.000 ha aproximadamente están empadronadas con concesión de riego, 49.857 ha en el partido de Patagones y 87.288 ha en el partido de Villarino, regándose en la actualidad el total de la superficie con concesión (Carbó, 2012).

El riego se suministra por medio de tres tomas libres que sirven a los siguientes canales principales:

- **Toma I:** abastece al canal Mayor Buratovich por el que se suministra agua a 51.311 ha de concesión, y al canal Unificador I, que suministra agua a 9.332 ha de concesión.
- **Toma II:** abastece al canal Unificador II que entrega agua a 15.764 ha de concesión, y al canal Villalonga que abastece a 33.557 ha de concesión.
- **Toma III:** abastece al Unificador III por el que riegan 29.398 ha de concesión (Carbó, 2012).

En cuanto al suelo, la mayoría en los partidos de Villarino y Patagones son clasificados como Haplustoles y Calciustoles. Se trata, en general, de suelos de textura arenosa a arenosa –franca, muy sueltos, susceptibles a la erosión eólica, con niveles de materia orgánica en promedio cercanos al 1%, ocasionalmente mayor al 2%. Los niveles de fósforo oscilan entre 5 y 30 ppm, aunque en áreas de monte natural estos valores podrían superar las 50 ppm. Debido a la típica textura gruesa, la infiltración básica puede oscilar entre 25 y 50 mm/h, pudiendo llegar a 200 mm/h (Ilgnier, 2024).

Tipos de sistemas de riego:

- **Riego por gravedad:** consiste en la aplicación de una lámina de agua que avanza sobre la superficie del suelo, distribuyéndose a lo largo y ancho de la parcela a medida que se va infiltrando. Una de sus ventajas es el bajo costo de inversión inicial, principalmente porque no requiere consumo de energía. Alguna de sus desventajas es qué necesita grandes volúmenes de agua, la nivelación del suelo y presenta muchas pérdidas por infiltración cuando se hace un mal manejo del sistema (Figura 3).



Figura 3. Riego por gravedad.

- Riego por goteo: es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requiere presión (Figura 4). Desde el punto de vista agronómico, se denomina riego localizado de alta frecuencia porque humedecen un sector del suelo en particular y aplica una lámina de agua con bajos caudales y altas frecuencias (Liotta, 2015). Este método de riego se caracteriza por presentar algunas ventajas, como el ahorro de agua, uniformidad de aplicación, menor presencia de malezas, ahorro de mano de obra, etc. Pero también tiene desventajas asociadas a costos elevados de adquisición e instalación, mayor consumo de energía, necesidad de mano de obra especializada, etc. (Liotta, 2015).



Figura 4. Riego por goteo superficial.

- Riego por aspersión: es un sistema mecanizado y presurizado donde el agua se aplica en forma de lluvia al cultivo mediante emisores denominados aspersores (Figura 5). Dentro de los sistemas de riego por aspersión se destaca el pivote central, el cual consiste básicamente en una tubería lateral provista de aspersores, sostenida mediante tensores de acero y apoyada sobre torres móviles espaciadas, generalmente, entre 30 y 60 metros. Cada torre cuenta con un motor propio y se desplaza sobre dos o cuatro ruedas de gran diámetro (Lagos et al., 2001). A continuación, se mencionan algunas ventajas y desventajas: desde el punto de vista del agua y nutrientes, estos pueden ser aplicados en forma bastante exacta, además las pequeñas aplicaciones de agua pueden potencialmente reducir la lixiviación en suelos arenosos, ahorro de mano de obra, posibilidad de automatización. Entre las desventajas, desde el punto de vista del cultivo, la aplicación del agua sobre la canopia crea condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas, tiene un alto costo de inversión inicial. Además, el radio circular de riego (pivote central) deja sectores en las esquinas del lote sin la aplicación del agua, los cuales representan un 20% de la superficie total.



Figura 5. Riego por pivot central.

Fuente hídrica y autoridades del agua

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO).

COIRCO, es el organismo responsable de llevar adelante la tarea de gestión del agua en la cuenca del Río Colorado involucrando a todas las provincias. A comienzos de 1980 el Comité definió su sede en la ciudad de Bahía Blanca, conformando un equipo técnico como soporte necesario para enfrentar las crecientes complejidades de la cuenca (COIRCO, 2025).

Dentro de su agenda institucional, el COIRCO combina las tareas de rutina con nuevos proyectos. Por un lado, la gestión del uso del recurso, así como el monitoreo de la calidad del agua se desarrollan en forma permanente e ininterrumpida, junto con el control de la actividad petrolera y de los demás usos del agua (COIRCO, 2025).

Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (CORFO)

CORFO es un ente autárquico con capacidad de derecho público y privado creado por la Ley Provincial 6245, el 3 de febrero de 1960. Su función principal es administrar y atender todo lo relacionado al riego y fomentar el desarrollo de la zona de riego. Uno de los primeros planes que tuvo la Corporación se concentró en resolver el crítico problema de la salinización de los suelos de la región y la infraestructura de riego y drenaje, también escuelas, caminos etc. Una vez creada la infraestructura regional, se inició un programa de desarrollo agroindustrial orientado a la modernización y diversificación de la producción regional (CORFO, 2020).

Consorcio Hidráulico del Valle Bonaerense del Río Colorado

El Consorcio Hidráulico del Valle Bonaerense del Río Colorado (COHIDRA) se creó el 18 de mayo de 2007 por resolución N° 7.621 del administrador de CORFO-Río Colorado. El directorio del consorcio está formado por dos representantes por canal principal, Villalonga, Unificador II, Unificador III, Buratovich y uno por el Unificador I. En su primera etapa, la única función que tuvo el COHIDRA fue recaudar un fondo de máquinas para la compra de equipos pesados (topadoras, retroexcavadoras, etc.). Estos equipos eran entregados a CORFO para el mantenimiento del sistema de riego. Posteriormente, en el año 2012 COHIDRA comenzó a incorporar personal para conformar un equipo técnico y administrativo que realizaría la operación y mantenimiento de la red secundaria del

sistema de riego del VBRC. (Pla, 2020). El objetivo final es la transferencia de la operación y mantenimiento de todo el sistema de riego de CORFO a COHIDRA, del estado a los usuarios.

Los consorcios de los canales secundarios solo tienen poder de decisión de los gastos de los canales, y delegan la operación y mantenimiento de los canales al COHIDRA.

VALLES IRRIGADOS DEL RIO NEGRO

a) VALLE INFERIOR DEL RIO NEGRO

El valle inferior del río Negro, también conocido como Valle de Viedma o Valle de IDEVI (Instituto de Desarrollo del Valle Inferior), está ubicado en la provincia de Río Negro, sobre la margen sur del río homónimo, entre los paralelos 40° y 41° de latitud sur, y los Meridianos 63° y 64° de longitud oeste. Abarca más de 80.000 ha en una franja de aproximadamente 100km de largo por 8km de ancho. Por tener clima semiárido los cultivos requieren riego para su desarrollo (Portal Viedma comunidad, 2013).

El clima registra una temperatura media anual de 14 °C, con un período libre de heladas de 191 días y la precipitación media anual es de 400 mm (FAO, 2014).

Infraestructura de riego del valle inferior

Este valle irrigado consta de un sistema de riego con canales “telescopicos”, los cuales permiten regular el caudal del agua de mayor a menor, también presenta un sistema de desagües colectores de drenaje para evitar la salinización y el encharcamiento del suelo.

b) VALLE DE GENERAL CONESA

General Conesa es una localidad ubicada sobre la margen sur del Río Negro, a 64° 25' longitud Oeste y 40° 16' latitud Sur (Figura 6), con una cota promedio de 56 m.s.n.m. Emplazada en el centro geográfico del Departamento Conesa de la provincia de Río Negro, la localidad constituye un punto de encuentro entre dos rutas nacionales: la N° 250 y la N° 251, que la comunican con los principales centros turísticos y comerciales de la región.

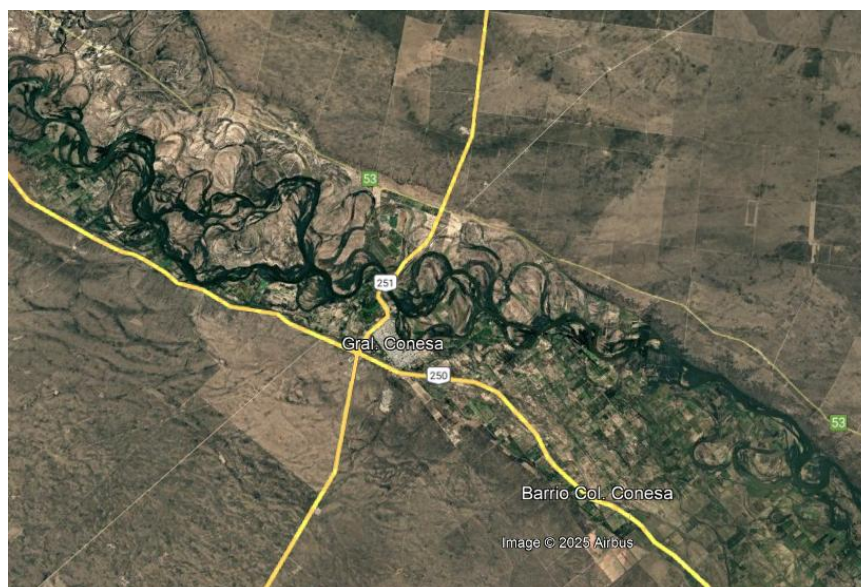


Figura 6. Localidad de General Conesa.

Las condiciones climáticas de la región son óptimas para el asentamiento humano y para el emprendimiento de cualquier actividad agropecuaria propia del clima templado-frío continental.

A continuación, se detallan los datos de temperatura media mensual y de precipitaciones media mensual en la última década (Figura 7):

1.1 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL [°C]

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	media anual
Media	22.4	20.8	18.7	13.5	9.7	6.9	6.3	8.3	11.2	14.5	17.2	20.7	13.9

1.4 LLUVIA MEDIA MENSUAL [MM]

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Año
Lluvias	39.5	41.3	48.7	38.2	29.2	22.3	18.3	26.2	25.1	32.2	26.0	32.0	379.0

Figura 7. Datos de temperatura media mensual (°C) y de lluvia media mensual (mm) para la localidad de General Conesa.

Con respecto a las condiciones geográficas, alrededor del 90% presenta el relieve de meseta con ondulaciones, propio de la Región Norpatagónica, en donde predominan los suelos poco profundos (limitados por la presencia de tosca), de textura arenosa y escaso contenido en materia orgánica. El 10% restante corresponde a la región del valle, conocida con la denominación de "Valle de Conesa". Esta área se ubica sobre ambas márgenes del río Negro, provista de suelos de origen aluvional, entre los que predominan los de textura franco-arenosa, con variable profundidad y aptos para múltiples actividades agropecuarias. Sobre la margen sur, el valle posee una superficie de, aproximadamente, 30.000 hectáreas. De las cuales, 20.000 se encuentran sistematizadas con riego gravitacional. En la margen norte, la superficie es de 55.000 hectáreas, pero no cuenta con sistema de riego incorporado (Belleli, 2020).

Infraestructura de riego de la localidad General Conesa

A finales de la década del 30, el estado nacional impulsó la construcción del Sistema de Riego del Valle de Conesa. Alrededor de 1939 se comenzó a construir la obra de toma, el Canal Principal de Riego y las 5 Dársenas de Distribución, las cuales regulan el caudal del canal por tramos, con Descargadores aliviadores que van hacia el río (FAO, 2014).

El canal principal presenta una longitud de 80 kilómetros y una profundidad variable aproximadamente de 1,8 metros, este está preparado para conducir un caudal de hasta 20.000 litros por segundo, lo que le permitiría regar alrededor de 20.000 ha. El sistema también posee 170 kilómetros de canales secundarios, 200 km de canales terciarios y finalmente, más de 250 km de desagües colectores (principales y secundarios) (FAO, 2014).

Autoridades de agua del Río Negro

Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (IAC)

Es un organismo encargado de la administración, control, uso y preservación de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Río Negro. Esta institución se creó en el año 1985 por acuerdo de los Gobernadores de las provincias de Neuquén, Río Negro y Buenos Aires. A partir de 1993, fecha en que se dotó a la AIC de su estructura técnica, se dio comienzo a los diferentes programas de gestión (AIC, s.f.).

Actividades que realiza la AIC:

- Coordinación interjurisdiccional del manejo del recurso hídrico de la Cuenca.
- Control de calidad de cuerpos de agua, evaluaciones y estudios ambientales.
- Estudios hidráulicos, hidrológicos y de drenaje.
- Pronósticos y Alertas meteorológicos (para prevención de heladas, tormentas severas y otros fenómenos, asistencia p/lucha contra incendios forestales, de montes, etc.).
- Relevamiento-Procesamiento de Información hidrometeorológica y de embalses.
- Obras de sistematización fluvial y de defensa de costas.
- Fiscalización de las Normas de: Manejo de Aguas, Protección Ambiental, y Seguridad de Presas (esto último dentro del ORSEP Comahue) de los contratos de concesión de las Hidroeléctricas Alicurá SA, Piedra del Águila SA, Pichi Picún Leufú SA, El Chocón SA, y Cerros Colorados SA.

Departamento Provincial de Aguas (DPA)

El DPA es el Organismo responsable del manejo integral del agua en la Provincia de Río Negro. Fue creado por la Ley 285 en 1961, es un organismo autárquico, que es vincula al Poder Ejecutivo Provincial a través de la Secretaría de Energía y Ambiente, conforme a la Ley de Ministerios vigente (DPA, 2026).

Algunas de las tareas que lleva a cabo este organismo son: la planificación hídrica y el aprovechamiento de los recursos mediante la ejecución de obras para riego,

saneamiento, sistematización de cuencas, protección de márgenes y control aluvional. La actuación como ente regulador de las concesiones de explotación de los sistemas de riego y de saneamiento, el otorgamiento y control de las concesiones, autorizaciones y permisos de uso de agua pública, y la puesta en marcha de acciones de prevención y control de contaminación hídrica (DPA, 2026).

El área de riego de Conesa–Frías sigue perteneciendo al sistema de riego no delegado, operado por el DPA a través de su empresa subsidiaria Aguas Rionegrinas S.E. Toda la operación y mantenimiento de la red principal y secundaria de canales y la red de drenajes principales está a cargo del DPA.

ESTACIONES EXPERIMENTALES DE INTA RELACIONADAS AL MANEJO DEL AGUA PARA RIEGO

Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi

La EEA Hilario Ascasubi (Figura 8) comprende a los partidos de Villarino y Patagones. Ambos partidos suman un total de 2.443.000 ha, de las cuales 140.000 están bajo riego (Molfese et al., 2016).

Los objetivos estratégicos que tiene esta unidad son: promover la competitividad del sector, fomentar la preservación de los recursos naturales, participar en procesos de desarrollo territorial y realizar un manejo adecuado del recurso hídrico cuando es empleado para riego.



Figura 8. Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi

Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro

La EEA Valle Inferior del Río Negro (Figura 9) participa en la gestión de la innovación del sistema agroalimentario del noreste patagónico. Las principales cadenas productivas son las vinculadas a producción de carne y fibras animales, frutales (frutos secos, vid y olivos) y horticultura (convencional y agroecológica). Esta unidad promueve en su área de influencia el desarrollo sustentable y equitativo, atendiendo a la problemática agropecuaria mediante la generación, adaptación y transferencia de tecnologías adecuadas, asistiendo a instituciones y productores de las localidades de Viedma, Gral.

Conesa, San Javier, Guardia Mitre, Río Colorado, San Antonio, Sierra Grande y Valcheta (INTA EEA Valle Inferior del Río Negro, s.f.).



Figura 9. Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro

Por todo lo mencionado, el presente trabajo aborda un análisis integral del proceso de transformación de un campo seco a un sistema productivo bajo riego, incorporando herramientas modernas de relevamiento topográfico, diseño y simulación hidráulica. De este modo, el trabajo busca aportar una mirada aplicada y técnica sobre el diseño y la optimización de los sistemas de riego.

OBJETIVOS

Objetivo general

Iniciar un proyecto de transformación de un campo de seco a la producción bajo riego y realizar un ensayo de eficiencia de riego por gravedad.

Objetivos específicos

- Analizar la topografía, vegetación y el uso actual del campo.
- Evaluar la accesibilidad y proximidad a fuentes de agua.
- Realizar análisis para la determinación de humedad en el suelo.
- Ejecutar un relevamiento planialtimétrico.
- Aprender a utilizar equipos GNSS y software.
- Realizar un ensayo y analizar resultados para determinar las eficiencias de riego.

De formación:

- Aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante la cursada a las actividades desarrolladas en el ámbito del trabajo.

- Generar actitudes de desempeño profesional a través de los inconvenientes presentados en el campo
- Elaborar y gestionar las premisas que guían un programa técnico.
- Fortalecer el uso de herramientas como: la búsqueda de información (revisión bibliográfica, entrevistas, bases de datos) el relevamiento, análisis y manejo de datos, gráficos y la redacción de un informe técnico.

METODOLOGÍA EMPLEADA

1 - PROYECTOS DE SISTEMATIZACIÓN PARA LOTES DESTINADOS A RIEGO POR GRAVEDAD

Previo a la implementación de un sistema de riego, es necesario llevar a cabo un proceso de sistematización, el cual comprende una serie de etapas que incluyen el relevamiento topográfico del terreno, análisis de los datos altimétricos, diseño de parcelas, canales y drenes y, por último, la nivelación del suelo.

Relevamiento topográfico

El relevamiento topográfico es el paso inicial para comenzar con el diseño de riego en un campo o lote para poder ser regado de forma correcta. Este proceso nos permite conocer los datos altimétricos de las distintas partes del área a relevar.

Antiguamente, estos relevamientos se realizaban mediante el uso de un láser y un receptor montado sobre una mira o regla de metal (Figura 10). El procedimiento consistía en colocar previamente estacas cada 25 metros generalmente en toda el área a relevar, de esta manera se lograba una toma de datos equidistante y representativa del sitio intervenido. Una vez en marcha el equipo laser, se tomaban las lecturas de altura en cada estaca mediante la señal del receptor y los valores obtenidos se registraban manualmente en la grilla de campo. Finalmente, con los datos obtenidos de las distintas cotas, se realizaba el cálculo a mano en un gabinete, lo cual demandaba mucho tiempo y el error era mayor.



Figura 10. Laser (A) y mira (B) utilizados para nivelar.

En la actualidad, la incorporación de tecnología más avanzada ha permitido optimizar y agilizar este proceso. La toma de datos generalmente ya no se realiza con láser, en cambio se utilizan equipos GNSS, los cuales registran de manera automática los datos de altimetría y sus respectivas coordenadas con un nivel de precisión muy alto. Además, estos datos pueden ser tomados desde un vehículo o cuatriciclo y ahorra el trabajo de colocar estacas, simplemente basta con recorrer y realizar pasadas cada cierta distancia con el equipo encendido.

Equipos GNSS RTK

GNSS RTK es una tecnología que utiliza el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) para lograr un posicionamiento en tiempo real de alta precisión. Se basa en una combinación de señales de sistemas satelitales y proporciona una corrección instantánea de la posición en el terreno. La precisión es muy alta y permite construir modelos de terreno más precisos mejorando la calidad de los trabajos topográficos (Geometer, 2025).

A continuación, se detallan los componentes del equipo (Figura 11):

- **Estación base:** la estación base GNSS RTK sirve como fuente de corrección para el móvil y realiza la función de recopilar datos de los satélites y su posterior procesamiento. Por lo general, se instala en un punto conocido y proporciona coordenadas precisas para otros receptores.
- **Rover:** Un móvil GNSS RTK recibe señales de una estación base y las utiliza para determinar su posición con alta precisión. Los rovers pueden ser dispositivos portátiles integrados en equipos geodésicos o en vehículos.
- **Medios de corrección y comunicación:** se utilizan varios medios de comunicación, como radio, celular o Internet, para transmitir señales de corrección entre la estación base y el móvil.



Figura 11. Base de la estación (A) y el rover (B) de un equipo GNSS RTK.

Software de nivelación de suelos

El programa nivelación de suelos es una herramienta informática que permite optimizar el diseño de parcelas bajo riego mediante el cálculo del mínimo movimiento de tierra posible para lograr una superficie totalmente nivelada y regable. Además, gracias a que puede analizar los distintos datos de altimetría del terreno natural, puede calcular pendientes óptimas basándose en los puntos más altos y más bajos del terreno natural. Su funcionamiento se basa en la carga de datos altimétricos obtenidos previamente con equipos GNSS, los cuales proporcionan coordenadas y cotas precisas de distintos puntos tomados en el campo.

Una vez ingresado los datos, el software analiza la topografía natural y genera una planilla con el modelo digital del terreno. A partir de modelo, realiza un cálculo matemático donde busca equilibrar los volúmenes de corte y relleno (utilizando un coeficiente de compactación elegido por el usuario), reduciendo al máximo el movimiento de suelo requerido. En la Tabla 1 se puede observar las diferentes relaciones de corte y relleno según la textura del suelo. De esta manera, este programa permite optimizar el trabajo de nivelación minimizando los costos y reduciendo significativamente el impacto al suelo.

Tabla 1. Relación entre excavación/relleno para diversos tipos de suelos (según Coore y Zwerman).

Tipo de suelo	Relación corte/relleno
Pesados de textura fina (arcillosos)	1,3:1 a 1,4:1
Textura media (franco-arcillosos o limosos)	1,2:1 a 1,3:1
Livianos de textura gruesa (arenosos)	1,1:1 a 1,2:1
Orgánicos	1,4:1 a 1,7:1

Durante el proceso de sistematización de tierras, es común que sea necesario realizar movimientos de suelo para lograr una pendiente uniforme que permite una correcta distribución del agua de riego sobre el lote. Debido al sentamiento natural que se produce en los suelos movidos y transportados, se asume que el volumen de corte supere al volumen de relleno, usando para el cálculo la relación propuesta por Coore y Zwerman (Luque et al., 1985).

En la práctica, es común generar dos proyectos para el mismo campo o lote, uno de estos va a estar gobernado por la pendiente ideal que nos sugiere el software, en la cual encuentra el movimiento de tierra más eficaz y, por otro lado, se prepara otro diseño adaptado a las preferencias del productor, quien en ciertas ocasiones puede optar por agregar o no pendientes laterales o incluso en algunos casos elegir no utilizar pendiente alguna.

Finalmente, este software arroja una planilla de corte-terreno, donde se indica en cada punto del lote la cota natural, la cota final y cuantos centímetros se requiere de corte o relleno (Figura 12 y 13). Desde el punto de vista del contratista, esta planilla le sirve para estudiar el terreno y ver de qué manera realizar la laborar. Para el Ingeniero Agrónomo es una herramienta clave para saber cuánto hay que cortar en cada punto del terreno, ver los cortes más profundos y comparándolo con un estudio de suelos, decidir si es o no conveniente que se corte tanto, sabiendo que los cortes excesivos incrementan los gasto y producen una degradación del suelo prácticamente irreversible.

Figura 12. Planilla de corte y relleno para 3 parcelas distintas.

Figura 13. Detalle de cada punto tomado con sus respectivas cotas (natural y final) y el corte o relleno requerido.

Una vez finalizada la etapa de relevamiento topográfico, procesamiento de la información y diseño del proyecto, se continua con la nivelación del suelo, que constituye la etapa final del proceso de sistematización de un campo o lote para riego por gravedad.

La nivelación del suelo, se realiza mediante el uso de palas o palones de arrastre, las cuales son arrastradas mediante tractores (Figura 14). Estos implementos tienen la capacidad de transportar ciertos volúmenes de tierra de un lugar a otro. El trabajo consiste en cortar el suelo en las zonas más elevadas del lote, y transportar ese material hacia las áreas más bajas donde se utiliza como relleno para lograr una superficie regular y con la pendiente establecida en el proyecto.



Figura 14. Palón de arrastre.

Esta labor se guía a partir de la planilla de corte y relleno generada por el software de nivelación. Esta información es muy importante para el operador de la maquinaria, ya que le permite orientarse y tener en mente como debe ser el recorrido para el transporte de tierra, y de esta manera poder realizar un trabajo más rápido y eficiente.

Se debe controlar la profundidad de los cortes, especialmente en suelos de poca profundidad efectiva, ya que una remoción excesiva podría afectar negativamente al suelo y por ende la productividad del lote o campo.

Finalmente, como resultado de este proceso, se obtiene una superficie totalmente nivelada con pendientes uniformes, ideal para lograr una distribución homogénea del agua durante los riegos aplicados por gravedad (Figura 15).



Figura 15. Superficie nivelada, lista para ser regada.

Diseño de canales y drenes

El diseño de canales y drenes constituye una etapa muy importante dentro del proceso de sistematización de tierras para riego, ya que permite una correcta conducción y evacuación del agua en el lote, evitando problemas asociados al exceso hídrico. Los canales de riego deben ser dimensionados de acuerdo con el caudal que se necesite transportar y la pendiente del terreno. Por otro lado, los drenes cumplen la función de eliminar los excesos de agua de la superficie del terreno y del perfil del suelo evitando procesos de salinización y sodificación, falta de aireación en las raíces y problemas nutricionales en los cultivos. Un adecuado sistema y diseño de canales y drenes permite mejorar la eficiencia de riego, optimizar el uso del agua y asegurar la sustentabilidad productiva del lote a largo plazo.

En este contexto, y con el objetivo de llevar a cabo un diseño adecuado de los canales de riego y drenes del sistema, se recurrió al uso del programa Hcanales (Figura 16). Es una herramienta muy práctica y sencilla de usar, creada para el diseño de canales y estructuras hidráulicas. A continuación, se detallan algunas de las tareas que permite realizar el programa Hcanales:

- Simplificar los cálculos que se requieren para el diseño de canales y estructuras hidráulicas.
- Realizar simulaciones, variando distintos parámetros hidráulicos como, por ejemplo: diferentes coeficientes de rugosidad, pendiente, caudales, formas y dimensiones de canales.
- Reducir tiempo de cálculo.
- Optimizar técnica y económicamente el diseño de un canal.

Lugar:	Segunda Angostura	Proyecto:	Canal Conduccion Pivotes
Tramo:		Revestimiento:	PEAD

Datos:	
Tirante (y):	1.2 m
Ancho de solera (b):	2 m
Talud (Z):	1
Coefficiente de rugosidad (n):	.012
Pendiente (S):	.0001 m/m

Resultados:			
Caudal (Q):	2.5513 m ³ /s	Velocidad (v):	0.6644 m/s
Area hidráulica (A):	3.8400 m ²	Perímetro (p):	5.3941 m
Radio hidráulico (R):	0.7119 m	Espejo de agua (T):	4.4000 m
Número de Froude (F):	0.2271	Energía específica (E):	1.2225 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Figura 16. Interfaz del programa Hcanales.

2 – ENSAYO DE EFICIENCIA DE RIEGO UTILIZANDO EL SOFTWARE WINSRFR

El software WinSRFR (Surface Irrigation Simulation Software) es una herramienta desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) destinada a la simulación, análisis y optimización de sistemas de riego superficial. Este programa permite modelar el comportamiento del agua en riegos aplicados por gravedad, utilizando surcos, melgas y tabloncillos (Figura 17).

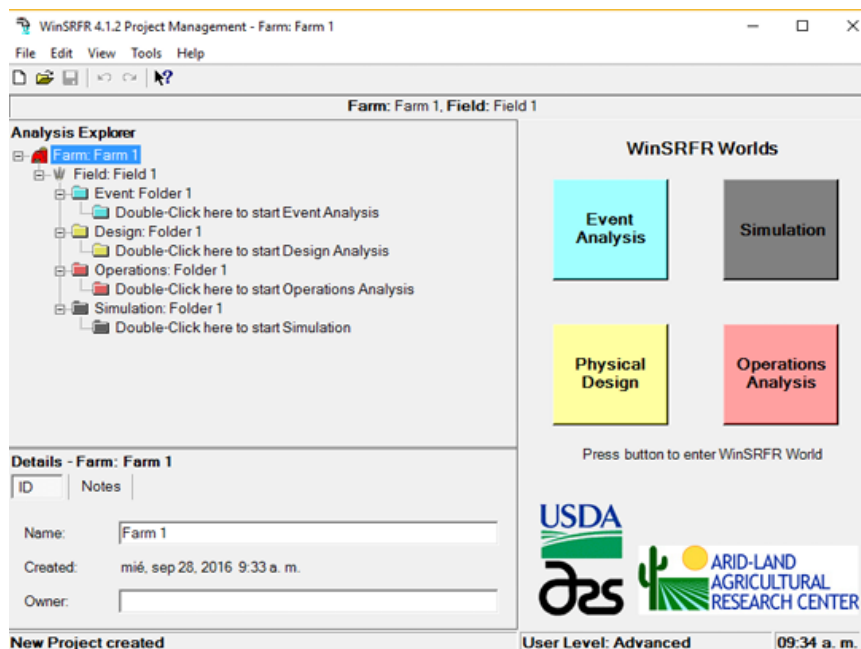


Figura 17. Interfaz de inicio del programa WinSRFR

Para llevar a cabo simulaciones, el software requiere el ingreso de ciertos datos como, por ejemplo, longitud y ancho de la parcela de riego, caudal, tiempo de riego, parámetros de infiltración, rugosidad del terreno, pendiente, lámina de riego de diseño, y si el riego es con o sin desagüe al pie, etc. A partir de esta información, WinSRFR genera gráficos de las curvas de avance y receso del agua, un diagrama de la lámina infiltrada y estimaciones de pérdidas por percolación profunda y escurrimiento superficial, así como

indicadores de eficiencia de aplicación y desempeño del riego (Martinez y Zelmer et al., 2015).

Como se puede observar en la figura 17, el programa cuenta con 4 herramientas principales. La primera es Event Analysis (Análisis de eventos) la cual se basa en una evaluación real de un riego y permite ajustar y correr el modelo en un sitio con características determinadas. Además, el software dispone del módulo Simulation (Simulación) este permite realizar simulaciones una vez conocidas todas las variables del sistema de riego. Por otro lado, se encuentra Physical Design (Diseño físico), cuando el objetivo es optimizar el diseño. Finalmente, Operation Analysis (Análisis de la operación) que permite optimizar parámetros de manejo, a partir de un modelo definido se pueden cambiar variables y definir cuál sería el manejo óptimo con la modificación de determinadas condiciones, lo que permitiría la mejora de valores de eficiencia de aplicación, uniformidad, etc. (Martinez y Zelmer et al., 2015).

El modo Event Analysis permite la introducción en el modelo de evaluaciones de riego, este recibe los datos obtenidos de una evaluación en un campo de una melga o grupo de surcos. Se le cargan los datos de dimensiones y formas, se mide el caudal de entrada y de salida (en caso de que tenga desagüe al pie), se anotan los tiempos de inicio y final de riego y mediante estacas o sensores, se determina el tiempo en que el agua llega a las estacas (tiempo de avance) y momento en el que desaparece de la misma (tiempo de receso) (Martinez y Zelmer et al., 2015).

Con esta información se obtiene el tiempo de oportunidad en que el agua está en cada punto determinado. Con este dato y el valor de la infiltración de agua en el suelo permite realizar un diagrama de agua infiltrada desde la cabecera al pie de la unidad de riego. Este análisis se completa con los datos de lámina objetivo (cuánta agua se debe aplicar), obtenida de la humedad volumétrica del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente y la profundidad efectiva del suelo que se quiere regar. También nos permitió obtener indicadores de desempeño como por ejemplo Eficiencia de Aplicación (EAP – Ecuación 1), Eficiencia de Almacenaje (EAL – Ecuación 2) y Eficiencia de Distribución (ED – Ecuación 3) (Martinez y Zelmer et al., 2015).

$$EAP = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{Volumen de agua aplicada}} \times 100$$

Ecuación 1

$$EAL = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{Volumen de agua requerida o almacenable}} \times 100$$

Ecuación 2

$$ED = \frac{\text{Lámina infiltrada promedio en el 25\% más perjudicado}}{\text{Volumen de agua infiltrado promedio}} \times 100$$

Ecuación 3

ACTIVIDADES REALIZADAS

1 - Creación del Proyecto

El primer paso de esta Práctica Profesional Supervisada consistió en la visita de un lote sin antecedentes previos de sistematización para realizar un relevamiento planialtimétrico, supervisado por el Ing. Agr. Mariano Pla.

El lote se encontraba ubicado en el sur de la provincia de Buenos Aires, entre las localidades de Hilario Ascasubi y Mayor Buratovich, en las coordenadas geográficas 39°21'17.1"S 62°25'48.0"W (Figura 18). El terreno presentaba una loma de importante magnitud en la zona central del lote con sectores más bajos hacia ambos extremos, lo que resultaba en un relieve irregular. Los suelos más bajos presentaban problemas de drenaje debido a que eran muy pesados abajo y muy arenosos arriba.



Figura 18. Ubicación del lote.

Este relevamiento nos permitió poder obtener datos de altitud del terreno natural, los cuales fueron necesarios para poder realizar cálculos fundamentales para la sistematización del lote. Para ello se utilizó equipo GNSS (Global Navigation Satellite System), el cual permite registrar con una precisión centimétrica (error 1 cm) coordenadas geográficas y cotas de elevación en diferentes puntos del lote.

La toma de datos se realizó mediante dos modalidades de registro. Por un lado, se efectuó un relevamiento visual y manual punto por punto, utilizado principalmente para la identificación de puntos característicos del lote, tales como puntos fijos, esquineros,

compuertas u otros elementos relevantes, a los cuales se les asignó un código específico para facilitar su posterior identificación y análisis. Por otro lado, se llevó a cabo un relevamiento automático del terreno natural, en el cual el equipo registró puntos de manera continua cada 5 o 10 segundos. De esta manera se logró obtener una cobertura homogénea del lote, realizando pasadas paralelas distancias a 20 o 25 m, logrando una densidad superior a 16 puntos tomados por hectárea.

La práctica consistió en recorrer el lote siguiendo un diseño de muestreo previamente establecido, donde se realizaron pasadas por toda el área de la parcela, distanciadas a menos de 25 m (Figura 19). Además, se registró el recorrido con la aplicación **GPS Fields Area Measure Map**. Para poder realizar la toma de puntos altimétricos y sus respectivas coordenadas, se colocó el ROVER en un soporte fijo arriba de la camioneta, a una altura conocida. Estos puntos permitieron generar una base de datos confiable que, posteriormente fue procesada en la computadora mediante el software Cartomap. La información se baja del equipo en un formato .csv. Información importante: número de punto, coordenadas planas, altitud y código.



Figura 19. Recorrido de lote con relevamiento topográfico.

El resultado de esta etapa fue la obtención de una grilla de alturas que permitió la elaboración del mapa topográfico del terreno. La información relevada fue inicialmente procesada en el software Cartomap, donde se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT) y, a partir de éste, una grilla uniforme de puntos, generalmente con una resolución de 25×25 m, en función de las características del lote y del tipo de trabajo a realizar.

A partir de dicho procesamiento se generaron dos archivos principales: por un lado, un archivo en formato .dxf, destinado a la elaboración del plano del proyecto en AutoCAD, y por otro, un archivo en formato .csv, utilizado para el software específico de sistematización de suelos.

En AutoCAD se desarrolló el diseño general del proyecto (Figura 20), para luego definir la subdivisión del lote en parcelas, las mesadas, la traza de canales primarios y secundarios, drenes y otros elementos del proyecto.

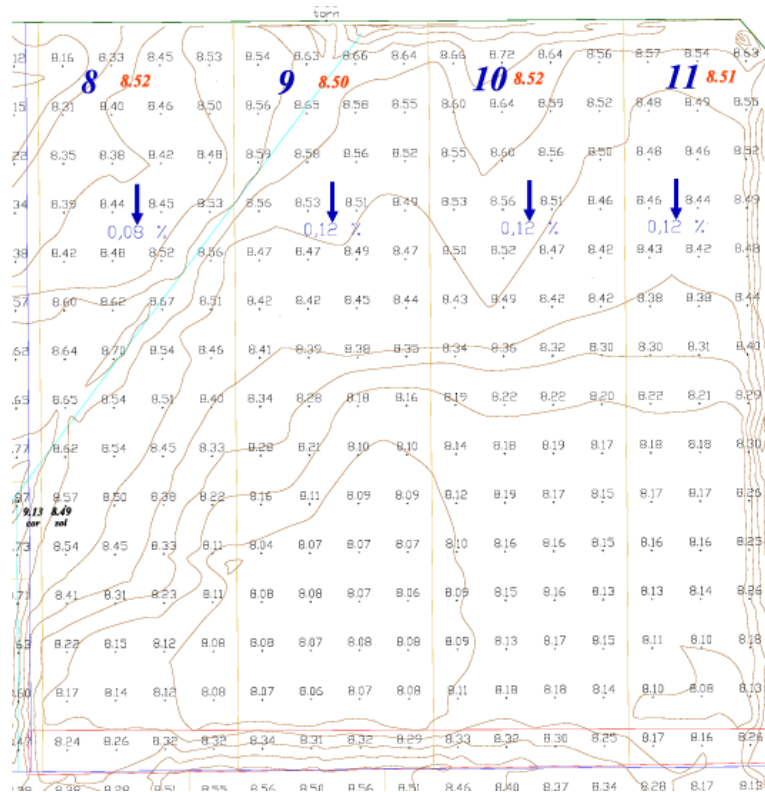


Figura 20. Diseño del proyecto, dividido en parcelas con sus respectivas pendientes y puntos de altimetría.

Paralelamente, el archivo .csv fue procesado en el programa de sistematización, donde se realizaron los cálculos correspondientes al movimiento de suelo, obteniéndose las planillas de corte-relleno y el cómputo métrico de los volúmenes de tierra a movilizar en cada parcela. Este procedimiento permitió estimar con precisión los metros cúbicos necesarios para alcanzar una superficie nivelada y definir pendientes adecuadas, condición indispensable para lograr una distribución homogénea del agua de riego y optimizar el diseño en función del relieve natural del terreno (Tabla 2).

Tabla 2. Resultado del movimiento de suelos por parcela.

PARCELA	PENDIENTE HORIZONTAL (cm/100m)	PENDIENTE VERTICAL (cm/100m)	RELACIÓN CORTE/RELLENO	CORTE (m3)	RELLENO (m3)	SUPERFICIE (has)	MOVIMIENTO (m3/ha)
1	-8	0	1.26	2570.63	2052.67	4.25	605
2	-16	0	1.26	435.5	347.29	1.88	232
3	-8	0	1.26	1166.4	931.09	2.44	478
4	-8	0	1.26	1571.89	1255.34	2.75	572
5	-12	0	1.26	1162.17	928.59	2.13	546
6	-12	0	1.26	2049.78	1638.04	3.38	606
7	-8	0	1.26	848.11	678	2.5	339
8	0	8	1.26	2362.07	1889.12	3.5	675
9	0	12	1.26	1852.51	1481.15	3.5	529
10	0	12	1.26	1494.22	1192.93	3.5	427
11	0	12	1.26	690.93	551.67	2.63	263
TOTAL				16204.21	12945.89	32.46	499

Cálculo de movimiento de tierra para canales y drenes

Para comprender mejor el diseño y funcionamiento de un canal de riego, a continuación, se presenta el esquema de la sección transversal de un canal trapezoidal de riego (Figura 21), en el cual se representan los principales elementos.

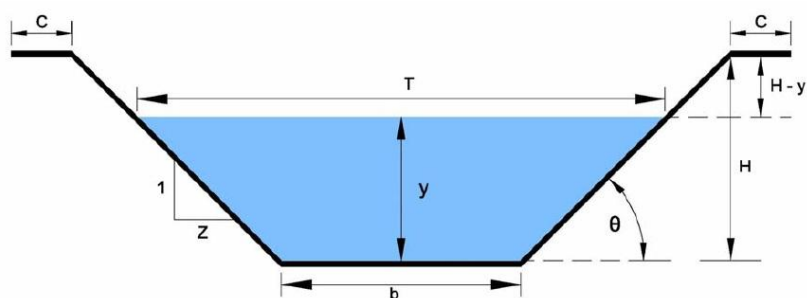


Figura 21. Esquema de la sección transversal de un canal trapezoidal de riego.

El espejo de agua (T) es el ancho de la lámina de agua que contiene el canal, el tirante de agua (y) es la altura que el agua adquiere en la sección transversal, el ancho de solera (b) es el ancho de la base, profundidad total (H) y por último se encuentra el ancho de corona (C).

El cálculo del volumen de suelo necesario para la conformación de la mesada del canal de riego (Figura 22) se realizó mediante el uso del programa Microsoft Excel (Tabla 3). En primer lugar, se cargaron las cotas del terreno natural y las cotas de proyecto u objetivo correspondientes a cada progresiva, definidas cada 25 m. A partir de estos datos se determinó la diferencia de altura existente entre ambas cotas, la cual representa la altura necesaria de la mesada.

Para el cálculo geométrico de la sección transversal se consideraron el ancho del coronamiento del canal, el talud lateral y la diferencia entre cotas. Con esta información se determinó el área de cada sección, calculada como el promedio entre la base mayor (ancho de la mesada) y la base menor (ancho del coronamiento), multiplicado por la altura y dividido por dos. Posteriormente, se obtuvo el área media entre secciones consecutivas, correspondiente al promedio de las áreas calculadas para cada progresiva. El volumen de suelo requerido fue estimado mediante la multiplicación del área media

por la distancia entre progresivas, obteniéndose así los metros cúbicos necesarios para la ejecución de la mesada del canal.



Figura 22. Mesada levantada para la posterior apertura del canal de riego.

Para finalizar el cálculo al valor final de metros cúbicos requeridos totales, se le añade un 20%, el cual proviene del coeficiente de compactación (relación corte/relleno).

Tabla 3. Cálculo de movimiento de tierra en metros cúbicos para la conformación de la mesada para un canal de riego.

Canal Cabecera Ruta-Camino									
Mesada para canal de riego.									
Pendiente (cm. cada 100 m.):		3.00		Talud (desplazamiento horizontal)				1.50	
Ancho de coronamiento (m.):		4.00		Distancia entre Cotas (m.)				25.00	
Progresiva	Cota Terreno	Cota Proyecto	Diferencia Cotas	Base Mesada	Area	Area Media	Volumen Terraplen	Volumen Corte	Obs.
0	86.45	86.45	0.00	4.00	-				Comp
25	85.70	86.44	0.74	6.23	3.80	1.90	47.5	-	Cor.86.45
50	85.70	86.44	0.74	6.21	3.75	3.77	94.3	-	Sol.85.78
75	85.70	86.43	0.73	6.18	3.70	3.73	93.2	-	
100	85.70	86.42	0.72	6.16	3.66	3.68	92.0	-	
125	85.70	86.41	0.71	6.14	3.61	3.63	90.9	-	Parc.2
150	85.70	86.41	0.71	6.12	3.57	3.59	89.7	-	85.89
175	85.70	86.40	0.70	6.09	3.52	3.54	88.6	-	
200	85.70	86.39	0.69	6.07	3.47	3.50	87.4	-	
225	85.70	86.38	0.68	6.05	3.43	3.45	86.3	-	Parc.3
250	85.70	86.38	0.68	6.03	3.38	3.41	85.2	-	85.47
275	85.70	86.37	0.67	6.00	3.34	3.36	84.0	-	
300	85.70	86.36	0.66	5.98	3.29	3.32	82.9	-	

Con toda la información procesada y los cálculos realizados, se obtuvo el proyecto final de sistematización de un campo. Este incluyó el plano con el diseño de parcelas y la ubicación de canales y drenes, sumado al cálculo de movimiento de tierra necesario para cada parcela en particular, del proyecto completo y de los canales y drenes. De esta manera el trabajo quedó finalizado y listo para poder ser entregado al dueño del campo, sirviendo como la base para cualquier ejecución de obras y posterior implementación de algún sistema de riego, principalmente el gravitacional.

2 - Ensayo de eficiencia de riego en chacra de General Conesa

El desarrollo de esta práctica fue supervisado por los Ingenieros Agrónomos Roberto Simón Martínez y Hernán Zelmer, ambos técnicos de INTA Valle Inferior. Se llevó a cabo en una chacra ubicada a 13 km de la localidad General Conesa (Figura 23), esta misma se encuentra adyacente a la ruta nacional N° 250. El lote elegido para este ensayo se encontraba regado por tablones o melgas (sin desagüe al pie), y se utilizó una de estas melgas para el ensayo, quedando la unidad de riego con unas dimensiones de 117 metros de largo y 30,2 m de ancho, dando como resultado un área de 3530 m². En esta parcela ya se encontraba establecido un cultivo de *Setaria italica* “Moha”. El suelo presentaba una textura arenosa-franca.



Figura 23. Ubicación de chacra y lote elegido para el ensayo.

Para determinar la lámina requerida para estas condiciones se determinó el contenido de agua en el suelo (Figura 24) a dos profundidades distintas (0-20 cm y 20-40 cm). Estas muestras se tomaron antes y después de un riego, para obtener los parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.



Figura 24. Muestras de suelo tomadas a dos profundidades distintas, una de 0-20 cm y otra de 20-40 cm.

Cada muestra obtenida del fue colocada en frascos rotulados lo más herméticos posibles para evitar pérdidas de humedad y llevadas al laboratorio de Agronomía de la UNS. Luego se procedió a determinar la humedad gravimétrica (Hg) con la siguiente fórmula:

$$Hg(\%) = (Psh - Pss) / (Pss) * 100$$

Donde Psh representaba la muestra de suelo en húmedo y Pss en seco.

El procedimiento consistió en pesar inicialmente la muestra húmeda (Psh), luego secarla en estufa a 105 °C (Pss), durante un período de 24 horas hasta alcanzar un peso constante y finalmente volver a pesarla en seco. La diferencia de peso entre las muestras permitió calcular la cantidad de agua contenida en la muestra.

Los valores de CC y PMP fueron de 10% y 6,5% de humedad gravimétrica, respectivamente. A partir de estos valores, y considerando una densidad aparente estimada de 1,5 g*cm⁻³ para este suelo, junto con una profundidad efectiva de 150 cm, se calculó una lámina de riego de 80 mm.

El ingreso del agua de riego a cada tablón se realizó mediante dos tuberías (Figura 25), con una capacidad de transportar 10 L/s cada una, totalizando un caudal erogado de 20 L/s para la unidad de riego analizada. Con el objetivo de determinar con precisión el caudal (Q) suministrado, se aplicaron dos métodos de medición complementarios.



Figura 25. Componentes del sistema de riego gravitacional: canal(A), tubería de conducción (B) y compuerta de regulación (C).

El siguiente trabajo consistió en aforar el caudal de agua que ingresó a la melga seleccionada, utilizando un balde de volumen conocido (V), que tenía una capacidad de 20 l. Este recipiente se colocó bajo la salida de la tubería por donde ingresa el agua a la melga intervenida, para luego registrar el tiempo (t) en segundos que demora en llenarse. A partir de estos datos, se aplicó la siguiente ecuación:

$$Q = V \cdot t$$

Con este método se realizaron tres repeticiones con el objetivo de mejorar la precisión de la estimación del caudal. En el primer intento, el tiempo registrado para completar el balde de 20 l fue de 2 minutos y 2 segundos, en el segundo intento arrojó un tiempo de 1 minuto y 57 segundos y en la última repetición se obtuvo un valor de 2 minutos y 1 segundo. A partir de estos valores se calculó un tiempo promedio de 2 minutos para el llenado del recipiente. Considerando este tiempo medido se obtuvo un caudal equivalente a 10 l por segundo, coincidiendo con el valor reportado por el productor.

Con el fin de obtener un valor más exacto y comprobar la consistencia de la medición, se empleó un segundo método de estimación teórica, basado en la siguiente ecuación:

$$Q\left(\frac{m^3}{s}\right) = Cd \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

donde **Cd** es el coeficiente de descarga (adimensional, típicamente entre 0,60 y 0,65), **A** el área del orificio (m²), **g** la aceleración de la gravedad (9,81 m·s⁻²) y **h** la carga de agua sobre el centro del orificio (m).

Al proceder con esta metodología, se midió una carga de agua sobre el centro de la tubería de 16,5 cm. El diámetro del orificio fue de 110 mm, a partir del cual se calculó el

área mediante la expresión $A=\pi.r^2$, obteniéndose un valor de 0.0095 m². Además, se adoptó un valor de coeficiente de descarga (C_d)=0,6. Al reemplazar estos valores en la ecuación, se obtuvo un valor de 0.010 m³/s, el cual expresado en L/s, equivale a 10 L/s, permitiendo así su comparación con el caudal calculado con el método anterior.

La aplicación de ambos procedimientos permitió validar los resultados obtenidos y asegurar la confiabilidad de los datos de caudal utilizados en los cálculos de eficiencia y distribución del riego.

Para la determinación de los parámetros de eficiencia, se diseñó una metodología basada en la medición de tiempos de avance e infiltración vista en la materia Hidrología y Riego en el segundo cuatrimestre del 4to año de la carrera. A lo largo de la unidad de riego (melga) se colocaron estacas cada 11 metros a modo de referencia. Durante el riego se registró la hora exacta de apertura y cierre del agua, y posteriormente se continuó tomando el tiempo cuando el agua alcanzaba cada estaca permitiendo calcular el tiempo de avance del frente de riego (Avance).

Asimismo, cuando se cortó el ingreso del agua, se procedió a registrar el tiempo que tardaba el agua en infiltrarse en cada estaca, lo cual sirvió para obtener el tiempo de infiltración (Receso). Estos datos fueron fundamentales para poder crear una tabla (Tabla 4) con los distintos tiempos y poder analizarla.

Tabla 4. Registro de tiempo de avance y receso en minutos para cada estaca.

Estaca	Avance (min)	Receso (min)
E1	3	312
E2	8	317
E3	24	329
E4	37	329
E5	41	357
E6	73	350
E7	95	385
E8	108	395
E9	160	397
E10	206	415
E11	225	404

Una vez concluida la toma de datos, se importó y procesó la información en el software WinSRFR detallado anteriormente, el cual permitió simular la aplicación de agua bajo riego superficial. Para poder realizar el análisis, además de estos datos anteriormente mencionados, también se utilizaron otros como: pendiente, textura del suelo, etc.

Para operar el software WinSRFR se ingresó al modo Event Analysis del programa, en esta instancia se seleccionó el tipo de sistema, definiéndose un riego por melgas y se indicó que la parcela se encontraba sin desagüe al pie. Asimismo, se estableció una lámina de riego requerida de 80 mm utilizada por el productor para la aplicación del

agua Para la evaluación del desempeño del riego se seleccionó el método de análisis Merriam-Keller.

Posteriormente, se completó la sección correspondiente a la geometría del sistema, donde se ingresaron las dimensiones de la unidad de riego, especificando la longitud y el ancho de la melga, así como la pendiente del terreno, expresada en porcentaje.

A continuación, se avanzó a la pestaña de propiedades del suelo y del cultivo, donde se eligió un coeficiente de Manning igual a 0,10, representativo de las condiciones del cultivo y de la superficie del terreno observadas durante el ensayo.

Finalmente, se cargó la tabla de datos de avance y receso del agua, incorporando los tiempos registrados en cada estaca ubicada dentro de la melga. Esta información permitió representar el comportamiento real del agua durante el riego y fue utilizada por el programa para realizar los cálculos correspondientes al desempeño del sistema.

RESULTADOS

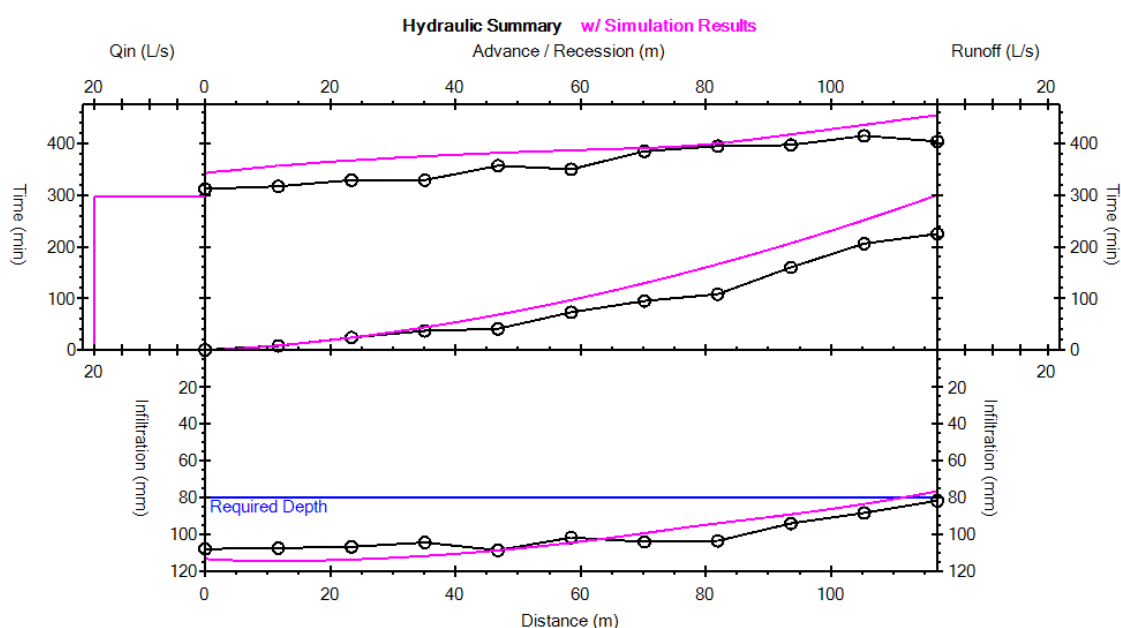


Figura 26. Curvas de avance y receso, medidas y simuladas por el software (arriba). Curva de distribución de la infiltración (abajo).

La figura 26 presenta un resumen de comportamiento hidráulico del riego evaluado, comparando los datos medidos a campo con los resultados obtenidos mediante la simulación realizada en el software WinSRFR. En la parte superior se representan las curvas de avance-recesión del agua a lo largo de la unidad de riego, mientras que en la parte inferior se muestra la distribución de la lámina infiltrada.

En el gráfico superior, el eje horizontal (x) indica la distancia recorrida por el agua en la unidad de riego, expresada en metros, y el eje vertical (y) representa el tiempo transcurrido desde el inicio del riego, en minutos.

Las líneas negras corresponden a los datos observados y medidos a campo durante el ensayo, registrándose el momento en que el frente de agua alcanzó cada punto o estaca (avance) y el instante en que el agua dejó de estar presente en superficie (recesión). Por su parte, las líneas de color rosado representan las curvas simuladas por el modelo WinSRFR a partir de los datos ingresados.

En el gráfico inferior se muestra la infiltración del agua a lo largo de la unidad de riego. En este caso, el eje horizontal muestra nuevamente la distancia en metros, mientras que el eje vertical expresa la infiltración acumulada en milímetros de agua. Las líneas negras corresponden a la infiltración calculada a partir de los datos de campo, y las líneas rosadas reflejan la infiltración estimada por el modelo. Asimismo, se incluye una línea horizontal de color azul que indica la lámina de riego requerida, en este caso 80 mm, la cual permite tener una referencia para evaluar el cumplimiento del objetivo de riego a lo largo de la parcela.

De acuerdo al análisis de las curvas de avance-receso obtenidas en el ensayo y comparadas con las teóricas, se puede observar que los tiempos de infiltración, por medio de las curvas de receso, son similares e indican que las longitudes de las unidades de riego son adecuadas para estas condiciones de riego.

Continuando con el análisis de resultados arrojado por el programa, se observa que la eficiencia de aplicación obtenida en el ensayo fue del 79% (Figura 27), un valor considerado muy elevado para sistemas de riego por gravedad en manto. Una eficiencia de este nivel indica que la mayor parte del volumen de agua aplicado fue efectivamente almacenado dentro de la zona radicular, minimizando las pérdidas por escurrimiento superficial o percolación profunda.

En cuanto a la eficiencia de almacenaje, el valor obtenido fue del 100 %, lo que indica que el agua aplicada permitió reponer completamente la lámina de riego objetivo. Por otra parte, la eficiencia de distribución alcanzó un 83 %, reflejando una aplicación del agua altamente uniforme dentro de la unidad de riego.

Field-measured Volume Balance

Dapp = 102 mm Dinf = 102 mm Dro = 0 mm

Performance Indicators (from Simulation)

Hydraulic Summary

Dapp = 102 mm	Dinf = 102 mm	Dro = 0 mm
Ddp = 22 mm	Dmin = 77 mm	Dlq = 85 mm
Tco = 297 min	TL = 300.2 min	XR = 0.99
Xmax = 117 m	Ymax = 31 mm	Verr% = -0.03 %

Efficiency & Uniformity Indicators

AE = 79 %	RE = 100 %
DUmin = 0.75	ADmin = 0.96
DULq = 0.83	ADlq = 1.06

Costs

Total = 30.46 \$/ha	DP% = 21 %
DP = 6.51 \$/ha	RO% = 0 %
RO = 0.00 \$/ha	

Warning(s)

-- None --

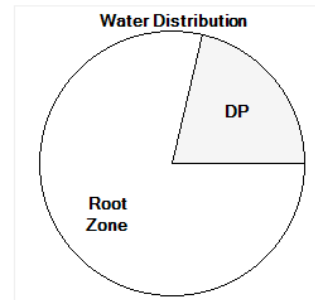


Figura 27. Resultados obtenidos con el software WinSRFR.

Estos resultados reflejan un desempeño altamente satisfactorio del sistema evaluado, evidenciando un uso eficiente del recurso hídrico y una correcta distribución del agua a lo largo de la parcela.

El alto valor alcanzado de la eficiencia de aplicación puede atribuirse a diversos factores técnicos. En primer lugar, el terreno presentaba una excelente nivelación, lo que favoreció una lámina de avance uniforme y una infiltración homogénea. En segundo término, se realizó un manejo adecuado del tiempo de riego, lo cual permitió cortar el suministro de agua en el momento óptimo, evitando excedentes innecesarios. Finalmente, el caudal utilizado (20 L/s) resultó apropiado para las dimensiones y características de la melga, garantizando una velocidad de avance adecuada y una cobertura eficiente. Por último, las longitudes de las melgas son adecuadas para la textura del suelo de la parcela y la pendiente utilizada.

El valor de eficiencia de aplicación (79%) obtenido supera ampliamente a los determinados por Loyola et. al., (2015) que se situaron en un rango de 55% a 65%, indicando la efectividad del manejo realizado y la importancia de una correcta sistematización del terreno en este tipo de sistemas. Estos resultados demuestran que, mediante una planificación adecuada y el uso de herramientas de simulación y control, es posible optimizar los sistemas de riego por gravedad, alcanzando niveles de eficiencia comparables a los de tecnologías presurizadas.

CONSIDERACIONES FINALES

La presente Práctica Profesional Supervisada permitió abordar de manera integral el proceso de transformación de un campo seco a un sistema productivo bajo riego, integrando conocimientos teóricos con experiencias prácticas realizadas en condiciones reales de campo. A lo largo del trabajo se analizaron las distintas etapas necesarias para llevar adelante este tipo de proyectos, desde el relevamiento planialtimétrico y la sistematización del terreno hasta el diseño hidráulico y la evaluación del desempeño del riego.

El uso de tecnología modernas, como los equipos GNSS y los distintos softwares utilizados, permitió realizar diseños más precisos, optimizar el movimiento del suelo y mejorar la eficiencia en el uso del agua. Asimismo, gracias al acompañamiento y supervisión del Ing. Agr. Mariano Pla, fue posible conocer y familiarizarse con la aplicación práctica de estas herramientas tecnológicas en proyectos reales de sistematización de tierras y diseño de riego.

Por otra parte, el ensayo realizado en conjunto con INTA IDEVI, a través del ensayo de eficiencia de riego superficial, permitió evaluar el funcionamiento real de un sistema de riego por gravedad y cuantificar algunos parámetros claves como la eficiencia de aplicación y la distribución del agua. Los resultados obtenidos evidencian que, mediante un adecuado diseño y manejo del riego, es posible alcanzar niveles de eficiencia satisfactorios incluso alcanzando porcentajes de eficiencia de aplicación de otros tipos de sistemas de riego como aspersión.

En conjunto, este trabajo evidencia la importancia de la planificación y el diseño adecuado de los sistemas de riego en zonas de seco, no solo para incrementar la productividad del lote o establecimiento, sino también para favorecer la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Finalmente, la experiencia adquirida durante la práctica permitió consolidar conocimientos técnicos y operativos fundamentales para el futuro ejercicio profesional, brindando las herramientas necesarias para comenzar a intervenir y transformar campos de baja producción en sistemas altamente productivos, a través del diseño, la evaluación y ejecución de proyectos de riego y sistematización de tierras.

BIBLIOGRAFÍA

Abeucci C., Sarafian P., (2006) Cuenca del Río Colorado. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/60.pdf>

AIC, (s.f.). La AIC (Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro). <https://www.aic.gob.ar/sitio/laaic>

Aquiles Salinas., (2024). Con riego, mejoran los rendimientos de los cultivos hasta un 115 %. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/con-riego-mejoran-los-rendimientos-de-los-cultivos-hasta-un-115>

Belelli C., (2021). Experiencia Profesional en la Chacra Valles Irrigados Norpatagónicos de AAPRESID. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5790>

Bongiovanni M.G., (2020) Desempeño del riego por superficie del cultivo de cebolla en el valle bonaerense del río Colorado, Argentina. INTA_CRBsAsSur_EEAHilarioAscasubi_Bongiovanni_MG_Desempeno_del_riego_por_superficie_del_cultivo_de_cebolla_en_el_vbrc.pdf

Carbó, J.I., (2012). Balance Hidrosalino. <https://corfo.gob.ar/wp-content/uploads/2016/02/Balance-11-12.pdf>

CORFO, (2020). Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado. <https://corfo.gob.ar/corfo/sobre-corfo/>

COIRCO, (2025). COIRCO celebra casi medio siglo en la gestión integral del agua. <https://www.coirco.gov.ar/coirco-celebra-casi-medio-siglo-en-la-gestion-integral-del-agua/>

DPA, (2026). DPA Misión. <https://dpa.rionegro.gov.ar/mision>.

FAO, (2009). 2050: Un tercio más de bocas que alimentar. <https://www.fao.org/newsroom/detail/2050-A-third-more-mouths-to-feedx>

FAO, (2014). Áreas de riego en la provincia de Río Negro. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexos/PROVINCIA_DE_RIO_NEGRO.pdf

GEOMETER, (2023). https://gpsgeometer.com/es/blog/gnss-rtk-guide-surveying-equipment-for-precise-positioning?srsId=AfmBOogggC5_L7iazlYHKxurJYKWWSkloAT3AyH0E6qXAABYiHFU-3EM

Ilgnier G. A., (2024). Estrategias para incrementar la eficiencia de conducción en la red secundaria de canales de riego en el Valle Bonaerense del Río Colorado. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6909>

INTA EEA Valle Inferior del Río Negro, (s.f.). Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro. <https://www.argentina.gob.ar/inta/cr-patagonia-norte/eea-valleinferior>

Lagos L. O., Holzaphel E., Hamil U. C., (2001) PIVOTE CENTRAL, Comisión Nacional de Riego Corporación de Formento de la Producción, Ministerio de Agricultura <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/bdb9f474-fa5f-407d-bdfc-bbb43a6a1ef6/content>

Liotta M., (2015) Manual de capacitación: riego por goteo. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/09/23_sistema_de_riego_por_goteo.pdf

Loyola, L., Martín, M. D., Palmieri, A., Mohor, S., Gadano, L., Nahuelquir, P., Cergneux, L., González, A., Muguerza, D., Parra, E., Bassani, S., González, C., Costanzo Caso, C.,

Luque, J. A., Paoloni, J. D., & Luque, J. L. (1985). Riego de Forrajeras y Pasturas para Producción de Carne. Ed. Hemisferio Sur.

Martínez, R. S., Prieto, D., Antúnez, A. B., Pla, M., Zelmer, H. R (2015). Evaluación del Riego Superficial como herramienta para el mejoramiento del diseño y operación de los sistemas.

Molfese, E. C., et al. (2016). Caracterización de la Calidad del Trigo Pan en el Centro Sur Bonaerense.

[https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3060/INTA_CRBsAsSur_EEABarrow_Molfese E Caracterizacion calidad trigo pan centro-sur bonaerense.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3060/INTA_CRBsAsSur_EEABarrow_Molfese_E_Caracterizacion_calidad_trigo_pan_centro-sur_bonaerense.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

Pla M., (2020). Historia de la transferencia del sistema de riego del Valle Bonaerense del Rio Colorado a los regantes.

Portal Viedma comunidad. 2013. Disponible en: <https://viedma.gob.ar/ciudad/viedma-en-el-idevi/>

SAGyP, (2025). Argentina aumentó la superficie de riego en más de 63.000 hectáreas en los últimos 2 años. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/argentina-aumento-la-superficie-de-riego-en-mas-de-63000-hectareas-en-los-ultimos-2-anos>

Sili, M., Kozel, R., Bustos Cara, R. (2015). La región del Colorado. Historia, cultura y paisaje en la frontera. Fundación ArgenINTA.