



**“Evaluación de desempeño de riego gravitacional para *Zea mays*  
en el Valle del Río Colorado”**

*Trabajo pre-profesional presentado para optar al título de Ingeniero Agrónomo.  
Carrera de Agronomía. Plan 2008*

**María Emilia Salonio**

Director: Dr. Alejandro Adrián Pannunzio  
Codirector: Mag. Pamela Norma Texeira Soria  
Colaborador: Ing. Agr. Alejandro Besano  
Tutor: Ing. Agr. Diego O. Ferraro

Facultad de Agronomía  
Universidad de Buenos Aires

Fecha de entrega: 22/07/2020

## Índice

1. Resumen
2. Introducción
  - 2.1 Área de intervención
  - 2.2 Justificación
  - 2.3 Objetivo
3. Metodología
4. Productos de la intervención y su interpretación
5. Conclusiones
6. Bibliografía

## **Índice de figuras y tablas**

Figura 1. Hidrología del área de Ingeniería de CORFO. Puntos de aforos mensuales.	5
Figura 2. Intendencias del VBRC.	6
Figura 3. Evolución del coeficiente del cultivo de maíz (Kc). R= riego. (Sánchez, 2013)	8
Tabla 1. Balance Hídrico del cultivo de maíz S= Siembra; C= Cosecha. (Sánchez, 2013)	8
Figura 4. Cuenca del Río Colorado.	9
Figura 5. Registros hidrométricos.	10
Figura 6. Barreno para muestra de humedad	13
Figura 7. Barreno para determinar densidad aparente.	13
Figura 8. Odómetro	14
Figuras 9. Nivel de anteojo y mira	14
Figura 10. Anillos de Muntz con regla para tomar las lecturas.	15
Figura 11. Regla utilizada para aforar sifones que se observan en la foto derecha.	16
Figura 12. Horno para obtener datos de peso seco de muestras de suelo y muestras de suelo con balanza para obtener peso húmedo.	17
Tabla 2. Información del lote	18
Tabla 3. Cálculo de la lámina requerida	18
Tabla 4. Resultados de humedad previo y a las 48 horas del riego.	19
Figura 13. Resultados de medición con odómetro, regla medidora de CORFO en dos sifones y relevamiento planialtimétrico en las 10 estacas del lote.	20
Tabla 5. Resultados de infiltración medida con doble anillo.	21
Figura 14. Infiltración instantánea en función del tiempo.	22
Figura 15. Gráfico de infiltración acumulada a partir de la ecuación de Kostiakov.	24
Tabla 6. Resultados de tiempo de avance y receso.	25
Tabla 7. Resultados del software.	26
Figura 16. Resultado del patrón de infiltración hasta la zona de raíces que muestra similitud con el segundo caso de la figura 17.	27
Figura 17. Análisis de eficiencia en diferentes situaciones de riego. Ejercitación propuesta para el curso de Sistema de Riego y Drenaje.	27
Figura 18. Gráfico de tiempos de avance y receso	28
Figura 19. Gráfico que muestra la interacción entre todas las variables que afectan el riego (Ciancaglini <i>et al</i> , 2015: 35).	29
Figura 20. Gráfico de eficiencias en función del lote analizado en cada desempeño de riego.	30
Figura 21. Gráfico de variabilidad de las láminas aplicadas.	31

## 1) RESUMEN

El presente trabajo pre profesional se fundamenta en una pasantía realizada del 2 al 18 de enero del 2019, en la zona del Valle del Río Colorado en la Provincia de Buenos Aires, cuyo gerenciamiento de riego corresponde a la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (CORFO). Esta pasantía se efectuó gracias a la invitación de CORFO para incorporar estudiantes avanzados en estas prácticas localizadas en el Centro de Capacitación de Hilario Ascasubi (Partido de Villarino). El objetivo general del trabajo fue evaluar la eficiencia global del sistema de riego de la zona, discriminando eficiencias de aplicación, almacenamiento, uniformidad y global del sistema, además de proyectar soluciones a posibles problemas. Los datos fueron obtenidos de cada desempeño de riego realizado por ingenieros, técnicos y todos los pasantes durante la campaña 2018/2019. En cada desempeño se midieron superficies en general, pendiente del lote, caudal de entrada y salida, infiltración acumulada e instantánea, densidad aparente, humedad gravimétrica antes del riego y a las 48 horas del mismo, tiempos de avance y receso, eficiencia de conducción intralote y datos generales de maíz. Para la obtención de las eficiencias mencionadas y el análisis hidráulico de sistemas de riego de superficie de los lotes analizados se utilizó un paquete de software llamado WinSRFR 4.1.3. El mismo permite predecir, estimar o simular diferentes situaciones de riego además de diseñar un lote de riego. Con los resultados obtenidos en este estudio de caso dirigido por CORFO, se pretende aumentar la eficiencia del riego del lote seleccionado a través de mejoras sobre alguna variable de manejo del lote. La interacción entre la experiencia del personal de CORFO unido a la utilización de un software de avanzada permite la obtención de datos evaluatorios concretos que servirán como base para futuros mejoramientos de producción o eficiencia zonal.

**Palabras clave:** CORFO- MAÍZ- EFICIENCIA- WINSRFR 4.1.3- RIEGO.

## 2) INTRODUCCIÓN

### 2.1 Área de intervención

CORFO Río Colorado funciona como entidad autárquica con capacidad de derecho público y privado. Sus relaciones con el Poder Ejecutivo se mantienen por intermedio del Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires (CORFO, 2020). Está ubicada aproximadamente a 100 km al sur de la ciudad de Bahía Blanca y a 800 km de la Ciudad de Buenos Aires. Se conecta con el resto del país mediante la ruta nacional n°3, que cruza la región de norte a sur.

En cuanto a las condiciones climáticas propias de un lugar, el Valle Bonaerense del Río Colorado (en adelante VBRC) presenta un clima semiárido templado con un déficit de agua de 300 a 500 mm que hace necesario el riego de los cultivos en forma permanente. Las precipitaciones decrecen de norte a sur, pasando de 450 mm al norte hasta 350 mm al sur del Río. La textura de suelo predominante es arenosa, que permite el desarrollo de una amplia gama de cultivos, requiriendo un buen sistema de drenaje para evitar los problemas de salinidad. Todo este sistema constituye el eje principal de la conservación de suelos de la región, ya que con

técnicas adecuadas de manejo sus aguas transportan en conjunto 9.400 ton/día de sal, producto del lavado de los suelos efectuado con el riego. Los principales productos que aportan al valor bruto de la producción del VBRC son la cebolla y la ganadería, seguidos por la producción de semillas y los cereales (INTA, 2015-2016). Aún con características diversas, todos los lotes guardan excelente aptitud para el desarrollo ganadero-lechero apoyado en pasturas perennes como lo es la alfalfa en mezcla con gramíneas (Carbó, 2009: 5-6).

El recurso hídrico llega al área de influencia de CORFO por medio de un sistema de tres tomas ubicadas al margen del río, que abastece cinco canales de riego principales:

- Toma I: Abastece al canal matriz Mayor Buratovich (48.087 has) y al canal Unificador I (8.556 has).
- Toma II: Abastece al canal Unificador II (16.013 has) y al canal Villalonga (33.844 has).
- Toma III: Abastece al canal Unificador III (29.610 has).

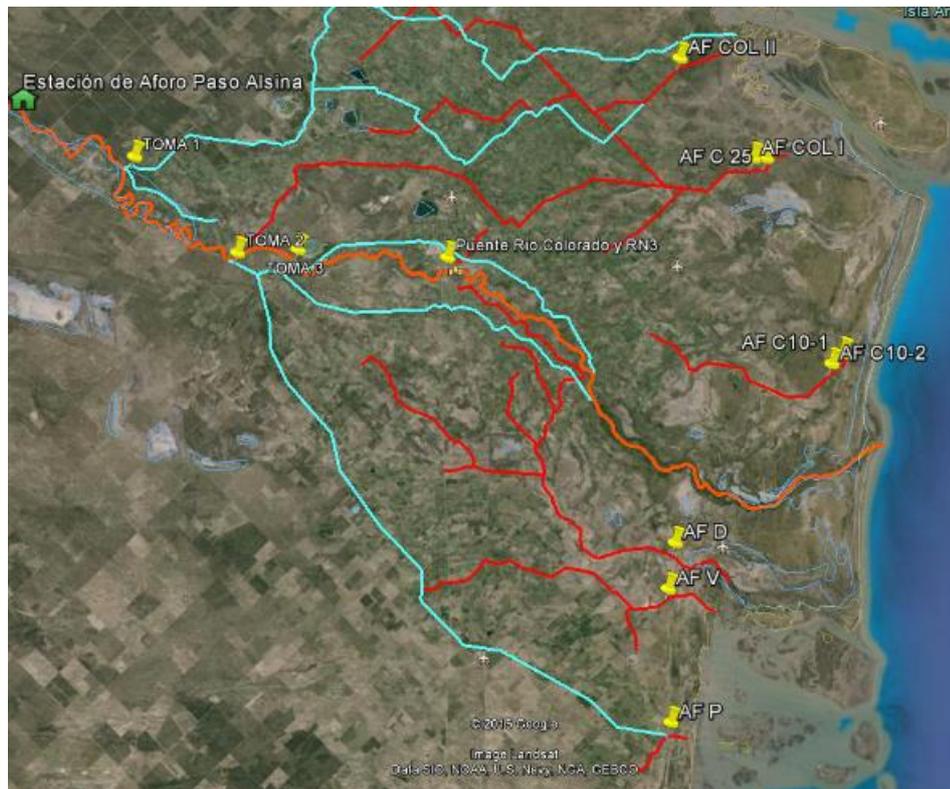


Figura 1. Hidrología del área de Ingeniería de CORFO. Puntos de aforos mensuales.

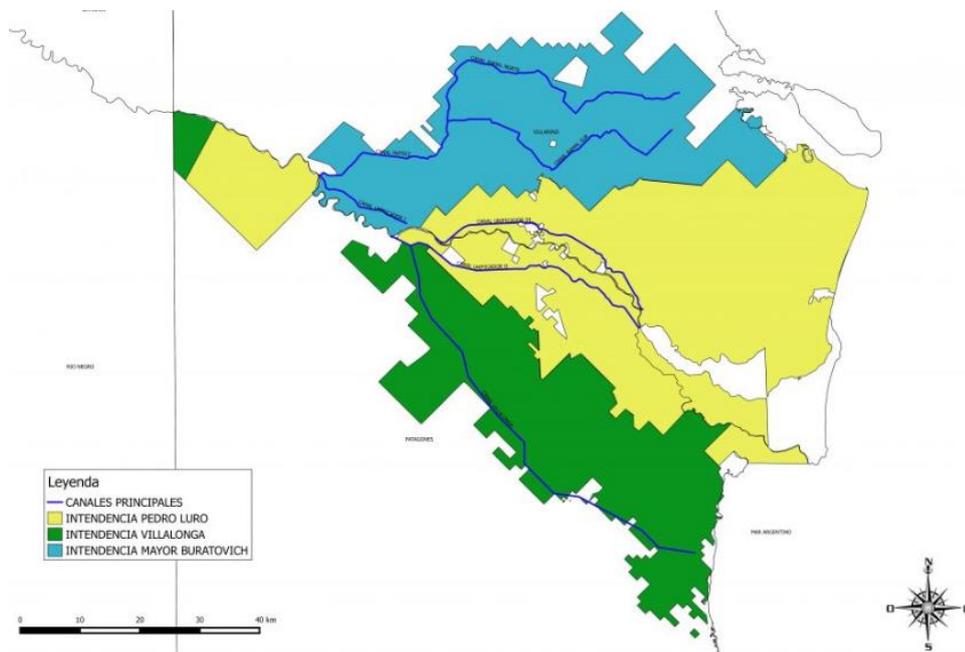


Figura 2. Intendencias del VBRC. <sup>1</sup>

CORFO tiene jurisdicción sobre 535.000 Ha., dentro de los Partidos de Villarino y Carmen de Patagones. De ese total, 130.000 Ha. están empadronadas, con concesión de riego, y se riega una superficie del orden de las 108.021 Ha (Lema, 2016). En el VBRC se practica el riego integral: la superficie regada se divide en distritos de riego que se organizan en asociaciones de regantes o consorcios. En el caso de que sea apoyado por alguna institución como CORFO, el servicio es gestionado por una administración que cobra un canon de riego por su servicio. El canon es una cuota fija por hectárea, cuyo pago se realiza un día antes de comenzar la campaña para poder disponer del recurso hídrico. Para el año 2019 se propuso un incremento del 40%, en parte por una disminución de los aportes de la Provincia y en otra parte por los aumentos de los costos operativos por inflación (CORFO, 2019).

En algunos casos dicho servicio se entrega a un canal comunitario que comparten un determinado número de productores que se turnan abriendo y cerrando sus compuertas de ingreso de agua a los lotes. Los días que le corresponden a cada productor se determinan a partir de las hectáreas de concesión que posea, siendo estas las hectáreas con derecho a riego ya determinadas en toda la zona. La dotación de agua correspondiendo a cada hectárea con derecho a riego (concesión) es de 0,4 l/seg.ha (CORFO, S/D). El agua ingresa al lote con un volumen o caudal con una frecuencia determinada que puede ser controlado a partir de un aforo en la compuerta de ingreso de agua o sifón de salida de la misma. A nivel de propiedad, es necesario que el productor sepa cómo aforar para saber cuánta agua está ingresando, optimizando su aplicación a la parcela y haciendo una distribución adecuada de la misma.

<sup>1</sup> <https://corfo.gob.ar/wp-content/uploads/2015/10/INTENDENCIAS-1024x724.jpg>

## 2.2 Justificación

El Río Colorado recorre las provincias de Neuquén, Río Negro, Mendoza, La Pampa y Buenos Aires. En el 1976, estas provincias convocadas por el Ministro del Interior firmaron el “Acuerdo del Colorado”, por el cual se establecieron los cupos de agua para cada Parte, según criterios técnicos (COIRCO, 2013-2017). A su vez se creó el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), considerado el primer comité de cuenca del país. “No solo se limita al control y monitoreo, sino también al análisis y estudios para conocer de manera acabada la calidad ambiental de la Cuenca. Consecuentemente, la actuación del COIRCO se ve limitada a la prevención, socavar pruebas y verificar in situ el hecho de incumplimiento de la ley ambiental o del Acuerdo, para luego comunicar a la(s) provincias Parte competentes, siendo éstas las únicas legitimadas para sancionar” (Cirone, 2014). La emergencia hídrica ha renovado la problemática en la actualidad, sobre todo en torno al impacto ambiental y el perjuicio en la calidad y caudal de agua que afectaría al Río Colorado.

La necesidad de encontrar alguna forma de disminuir el impacto de la sequía que predomina en la zona hace 8 años justifica los trabajos de investigación en torno a la eficiencia del riego en la región. En las figuras a continuación, hay datos de balance hídrico de magnitud negativa de la zona que demuestran que hay un déficit hídrico, y el requerimiento de riego o demanda necesaria en maíz en diferentes momentos del ciclo para obtener buenos rendimientos (Sánchez, 2013). Entre los momentos más importantes se destaca según datos de la zona 50 días rondando floración, en el cual un estrés hídrico generaría mayores mermas en el número de granos, coincidiendo con el crecimiento activo de la espiga, la emergencia de estigmas y el inicio del llenado del grano (Satorre *et al.* 2003: 146-147). Unido al impacto climático de la falta de precipitaciones, se suma la disminución del caudal de agua disponible en el Río Colorado. La implicancia del Área de desarrollo e Ingeniería de CORFO se torna relevante ante la influencia de estas dos variables.

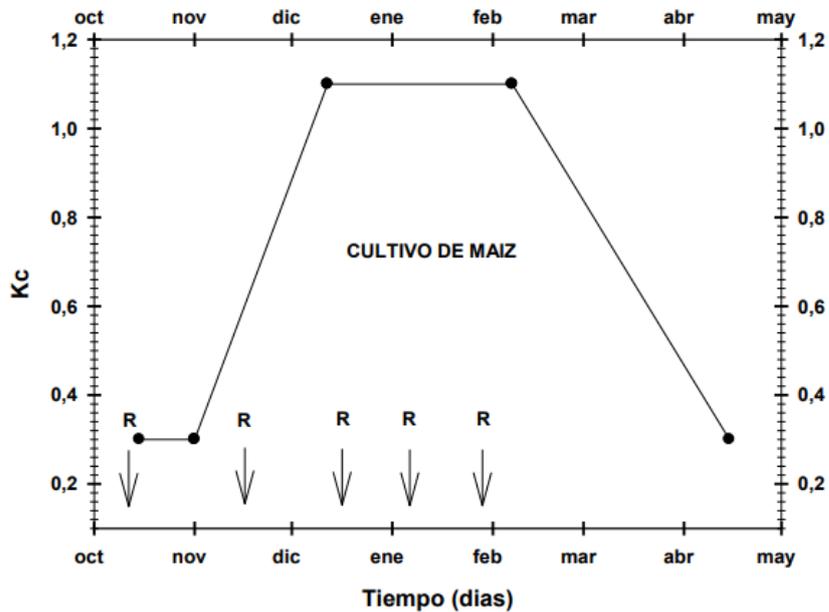


Figura 3. Evolución del coeficiente del cultivo de maíz (Kc). R= riego. (Sánchez, 2013)

Meses	O		N			D			E			F			M			A	Total	
Período dec.	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	
Días	10	11	10	10	10	10	10	11	10	10	11	10	10	8	10	10	11	10	10	192
Eto (mm/dec.)	33.6	45.2	41.8	45.5	52.0	55.2	55.6	65.5	63.7	63.6	64.0	48.7	44.7	34.7	39.9	31.3	28.1	22.0	17.8	
Kc	S 0.30	0.30	0.40	0.60	0.80	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.30	C
Etc (mm/dec.)	8.4	11.3	16.7	27.3	41.6	55.2	61.2	72.1	70.1	70.0	70.4	43.8	35.8	24.3	23.9	15.7	11.2	6.6	4.5	
Etc (mm/mes)	19.7			85.6			188.4			210.4			103.9			60.8			11.1	669.9
Precip. med.(mm/dec.)	8.0	2.5	6.0	13.0	5.0	3.3	11.0	2.0	6.2	3.4	9.3	11.3	7.5	5.0	9.0	21.0	9.0	4.0	5.3	
Precip. med.(mm/mes)	10.5			24.0			16.3			18.9			23.8			39.9			9.3	141.8
Riegos (núm.)	1				1		1		1		1									
Lam (mm.)	84.0			84.0			84.0		84.0		84.0									420.0
Balance Hídrico (mm/mes)	74.8			22.4			-88.1		-23.5		-80.1				-11.8				-1.8	-108.1

Tabla 1. Balance Hídrico del cultivo de maíz S= Siembra; C= Cosecha. (Sánchez, 2013)

El caudal del sistema de CORFO es de régimen nival, es decir, se abastece del deshielo y se almacena en el Dique Casa de Piedra para disponer del agua para las campañas. El régimen del Río Colorado presenta dos ciclos bien definidos: en primavera-verano de altos caudales y en otoño-invierno de caudales reducidos. Hasta la construcción del dique Casa de Piedra en el año 1996, el aprovechamiento

de agua estaba condicionado por los regímenes naturales de deshielo (CORFO, S/D).



Figura 4. Cuenca del Río Colorado. <sup>2</sup>

La falta de agua destinada al riego surge como consecuencia de la repetición de un período extra seco en materia de nevadas, en la zona de alta montaña, donde tienen su origen los dos principales afluentes del Río Colorado: el Río Grande (70% de aportes) y el Río Barrancas (30 %). El deficiente abastecimiento del Dique hizo que disminuyera el aporte de agua que llega al sistema en un 30 %, de 1.800 a 1.300 Hm<sup>3</sup> (INTA, 2014). El manejo del dique depende de la cantidad de agua que se pronostica habrá durante el año en el mes de octubre: se sabe que a partir de este mes no habrá más nieve en alta montaña. Según el programa de erogaciones estimado por las autoridades de la zona, la mayor dotación de agua se da en enero disminuyendo hasta la menor dotación de riego en abril de 15 m<sup>3</sup>/seg., este último llamado caudal ecológico. Con este manejo se trata de cubrir los requerimientos hídricos de los periodos de mayor demanda de los cultivos y garantizar las próximas campañas de riego, dentro de una situación de crisis hídrica que viene atravesando la cuenca desde el año 2010 a la fecha (CORFO, 2019). Otro beneficio indirecto es la disolución de las sales de un eventual aporte de agua de los ríos Salado y Curaco, evitando así perjuicios para los cultivos (CORFO, S/D).

A continuación, se pueden observar los promedios del caudal total en m<sup>3</sup>/seg erogados por mes según los registros hidrométricos de COIRCO, período 2017-2019:

<sup>2</sup> <https://corfo.gob.ar/corfo/sobre-corfo/>

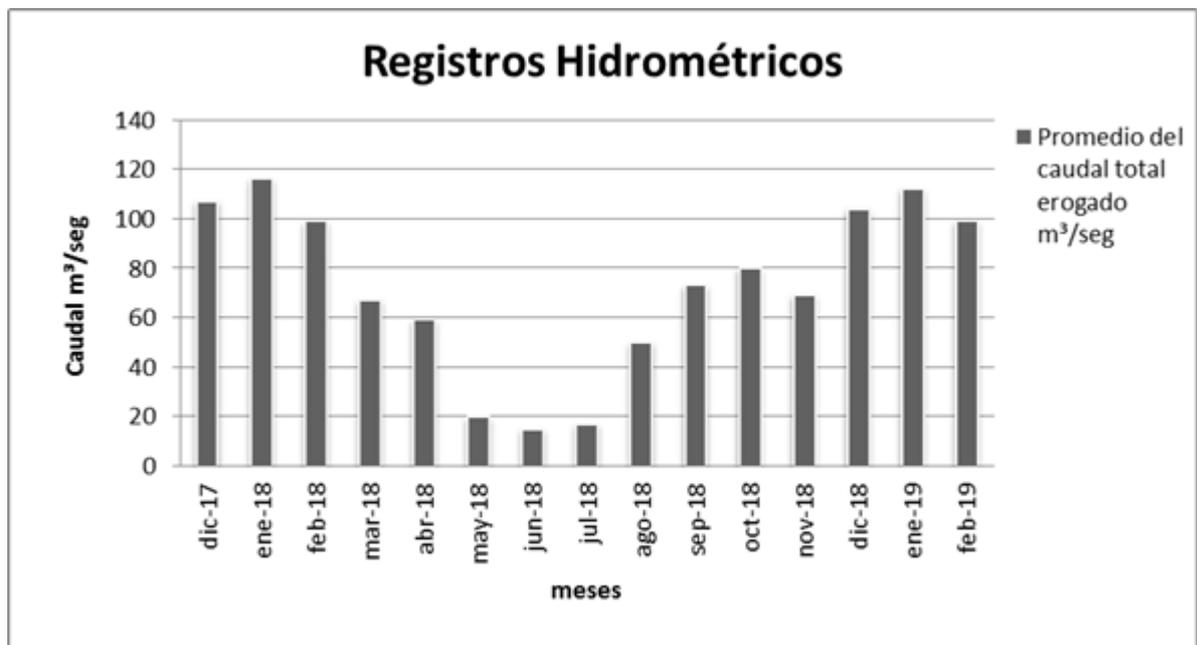


Figura 5. Registros hidrométricos. <sup>3</sup>

El interés de este trabajo se fundamenta en la utilización del agua proveniente de cauces superficiales y con un sinnúmero de destinos, haciendo centro en la agricultura de riego. Al ser un recurso escaso, su utilización se orienta en la forma más eficiente posible, evitando usos y abusos y logrando rendimientos en los cultivos que solo se pueden obtener en la agricultura bajo riego. Se parte de la premisa que resulta importante analizar, la administración de la gestión del riego, dado que obteniendo un resultado exitoso se puede lograr una mejora sustancial en los resultados del riego (Lema, 2016). A nivel local, para mejorar el uso del recurso, se llevan a cabo diferentes acciones como la mejora en los sistemas de riego intralote de muchos productores, la adecuación de los cultivos a las concesiones de riego, la adopción de los turnados, la reestructuración de los canales secundarios y terciarios encarada por los consorcios de riego, el mantenimiento del parque de máquinas por parte de CORFO y del Consorcio Hidráulico. Los trabajos de mantenimiento se realizan todos los años en el periodo de invierno, en el cual se corta el agua durante unos dos meses para tal fin.

El crecimiento y rendimiento de los cultivos es altamente dependiente de la disponibilidad hídrica. Las mayores reducciones de rendimiento se asocian a deficiencias hídricas que ocurren a la siembra y en las etapas en que se definen los componentes que determinan el rendimiento, denominado período crítico del cultivo (Satorre *et al.*, 2003: 259-275). El riego permite una mayor flexibilidad y menor riesgo a la hora de tomar una decisión respecto a la fecha de siembra pudiendo obtener mayores rendimientos del cultivo.

La mayor parte de los lotes visitados durante la pasantía presentaron riego gravitacional: se deja escurrir el agua por la superficie del suelo a través de sifones

<sup>3</sup> Gráfico realizado con los datos de <https://www.coirco.gov.ar/hidrologia/>

durante un tiempo, permitiendo que en ese lapso el agua se infiltre en el perfil, reponiendo la humedad necesaria para que los cultivos puedan crecer y desarrollarse.

La justificación del presente trabajo es evidenciar la experiencia que vivió el alumno en la pasantía. El trabajo preprofesional a campo es un proyecto enriquecedor para el futuro profesional del estudiante desde múltiples aspectos. En principio, esencial para la comprensión de las diferentes competencias de los actores en el proceso de riego: los entes públicos (CORFO-INTA), los productores, las universidades, los participantes de la actividad económica del riego. Luego, la posibilidad de observar el conocimiento y las tecnologías manejadas hoy en día en este ámbito, con la participación en la recolección de datos concretos en el período crítico de los cultivos, tanto en los campos experimentales como en las explotaciones particulares de la zona. Por otro lado, en cuanto a eficiencia global de riego, deben complementarse con otros estudios sobre los costos de producción, que hoy en día son de vital importancia para el desarrollo de la agricultura, y de las actividades económicas conexas. Se sabe que antiguamente la Provincia de Buenos Aires aportaba el 80 % del financiamiento de CORFO, mientras que el canon de riego aportado por productores, solo el 20 %. Actualmente la relación se ha invertido, siendo los productores los principales aportantes del sistema. Es de vital importancia que el ente de riego justifique su accionar, principalmente aumentando su eficiencia, en momentos en que esta zona ha sido declarada en emergencia hídrica, sumado a las problemáticas económicas del país, y de la región en particular, que se considera desfavorable y de riesgo. Es decir, el ente de riego debe justificar su accionar hacia los productores, pero a su vez debe asumir el rol de difusor y propulsor de trabajos de investigación en el ámbito académico que con un criterio científico ayuden a mejorar los sistemas de riego y, por ende, la producción. Desde mi lugar de pasante y alumna de esta Facultad la justificación reside en instalar la discusión y dar a conocer cuáles son líneas de trabajo actuales para dar una respuesta a la problemática del sur de la provincia de Buenos Aires.

### **2.3 Objetivo del trabajo**

El objetivo general fue la evaluación de la eficiencia global del sistema de riego de la zona. Dentro de los objetivos específicos se encontraron:

1. Evaluar las eficiencias de aplicación (EAP), almacenamiento (EAL), distribución (ED) o uniformidad del sistema de riego.
2. Determinar mejoras al sistema mediante el aporte de recomendaciones que derivan del análisis de los resultados obtenidos.

## **3) METODOLOGÍA**

Para esta evaluación se utilizó una herramienta denominada WinSRFR 4.1.3, un software de avanzada para el análisis hidráulico de sistemas de riego de superficie creado por el USDA-ARS. Con el uso de la simulación que posee el programa los

datos tomados durante la pasantía se obtuvieron las eficiencias de cada lote, que permiten inferir combinaciones de manejo para mejorarla.

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

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

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

Para alcanzar los objetivos mencionados se midieron una serie de variables obtenidas durante la pasantía que luego se utilizaron para el cálculo de cada una de las eficiencias indicadas. La unidad experimental que se analizó fue una selección de lotes en el área de influencia de CORFO Río Colorado. En cada desempeño se recaudó información inicial del lote y se midieron con diferentes herramientas las variables de importancia. Dentro de estas variables se mencionan:

a) Información inicial del lote: Nombre del campo; hectáreas de cultivo; hectáreas de concesión de riego; si está aporcado o no; croquis del lote.

b) Valores hídricos referenciales y densidad aparente: se utilizó un barreno para tomar muestras de humedad de suelo en el día del desempeño del lote (humedad remanente) y a las 48 horas posteriores al riego (humedad a capacidad de campo). Estas muestras de suelo se obtuvieron para determinar valores referenciales de humedad del suelo en diferentes profundidades del perfil (0-25cm; 25-50cm; 50-100cm) de la cabecera, medio y pie del lote. También se utilizó otro barreno con recipiente de volumen conocido, para sacar una muestra de densidad aparente en cabecera, medio y pie del lote a una profundidad de 0-25cm. Datos que servirán luego para el cálculo de la lámina neta de reposición (mm).



Figura 6. Barreno para muestra de humedad



Figura 7. Barreno para determinar densidad aparente.

c) Distancia total: se utilizó el odómetro como herramienta de medición de distancia total recorrida, obteniendo el largo del lote en metros. Conocida la longitud del lote se posicionaron 10 estacas sobre las cuales se realizaron las próximas mediciones.



Figura 8. Odómetro

d) Relevamiento planialtimétrico: se utilizó un nivel de anteojo que posee un alcance de 150-250 m y una mira topográfica, sobre la cual se realizaron las lecturas en metros. Se repitió dicho procedimiento en cada una de las 10 estacas del lado derecho e izquierdo del surco. Para obtener la curva de nivel que sigue el agua por los surcos por donde realizan el riego y pendiente longitudinal del lote.



Figuras 9. Nivel de anteojo y mira

e) Caracterización de la Infiltración: se utilizó un infiltrómetro de doble anillo o anillos de Muntz, que consta de 2 anillos con una regla que anexamos para medir tasa de infiltración de agua en diferentes rangos de tiempo. Se clavó en el suelo el anillo de mayor diámetro y por dentro el anillo de menor diámetro. Una persona se posicionó encima mientras se clavaron los anillos para evitar que la vibración afecte la estructura del suelo que lo rodea. Se enrasaron los anillos con agua y las lecturas

se tomaron de la regla que está unida al anillo con una cinta hasta la estabilización de la medición. Con la regla se puede tomar el dato de cuantos mm desciende la columna de agua en determinado tiempo (30s; 1 min; 2 min; 5 min; 10 min; 15 min) hasta que se estabilizó la medida, es decir tomar 3 medidas similares de tasa de infiltración en la misma cantidad de tiempo.



Figura 10. Anillos de Muntz con regla para tomar las lecturas.

Una vez realizada esta toma de datos, se liberó el agua para comenzar el riego por gravedad a través de sifones de 3 pulgadas. Desde este momento, se midió el tiempo de avance del agua anotando el horario de llegada de la misma a cada una de las 10 estacas posicionadas según la longitud del lote.

f) Caudal unitario liberado: se utilizó regla de CORFO-INTA y manguera para aforar o medir el caudal en sifones de 3 pulgadas dispuestos en la acequia que recorre el lote. Esta regla que se posicionó sobre el sifón tiene un cuadro de doble entrada con pulgada del sifón y altura en cm de la columna de agua de la acequia medida con la manguera cargada, de lo que se obtuvo la carga hidráulica expresada en el centro de la regla en l/s.

$$Q_{total} \text{ (Caudal total) l/seg} = Q_{unitario} \text{ (aforado) l/seg} \times n^{\circ} \text{ de sifones}$$

En una zona bajo riego, la medición del caudal es esencial para la distribución equitativa del agua, tarea que es efectuada por el Departamento de Hidráulica en la red pública de riego. Al nivel de propiedad, es necesario que el productor sepa cuánta agua está aplicando a la parcela, para un máximo aprovechamiento del recurso y evitar perjuicios (INTA, 2002).



Figura 11. Regla utilizada para aforar sifones que se observan en la foto derecha.

Una vez que alcanzó la décima estaca, se retiró el sifón por el cual sale el agua y se comenzó la medición del tiempo de receso del agua de cada estaca.

g) Peso Húmedo y Peso Seco en laboratorio: terminada la actividad a campo, se realizó el pesaje de las muestras de suelo obtenidas el mismo día y a las 48 horas del riego. Con la balanza se obtiene peso húmedo, peso seco de las muestras luego del secado de 48 horas en estufa (105°), peso del recipiente de cada una de las muestras de humedad y densidad aparente. Se llevó un registro de todos estos datos en las planillas de cada lote.

$$Dap \text{ (densidad aparente)} = \text{peso (balanza)} \% \text{ volumen (conocido)}$$



Figura 12. Horno para obtener datos de peso seco de muestras de suelo y muestras de suelo con balanza para obtener peso húmedo.

#### 4) PRODUCTOS DE LA INTERVENCIÓN Y SU INTERPRETACIÓN

La herramienta para plantear mejoras en el sistema es el programa WinSRFR 4.1.3 (Bautista *et al*, 2012), un software que se utiliza para el análisis hidráulico de sistemas de riego de superficie. El programa posee diferentes módulos entre los que podemos citar la simulación, análisis de un evento de riego, la evaluación de una planificación de riego y el diseño físico de un lote. El módulo utilizado fue el de simulación: se posicionaron los datos para obtener la eficiencia simulando el riego según las características de cada lote. Se destaca que los pasantes tuvimos la oportunidad de capacitarnos en la utilización del software, posibilitando así el procesamiento y la comprensión de los resultados obtenidos. Datos tomados durante la pasantía nos han permitido obtener las eficiencias de cada lote. En el caso de la simulación, datos como densidad aparente o resultados de muestras de humedad del suelo, nos sirvieron para calcular la lámina neta de reposición (mm). Las muestras de humedad fueron estimadoras de capacidad de campo y humedad actual para saber el contenido hídrico del suelo:

$$\text{Lámina (mm)} = (\text{CC} - \text{Aactual}) \times \text{dap} \times \text{profundidad (mm)}$$

CC = contenido gravimétrico en capacidad campo

Aactual = contenido gravimétrico actual

dap = densidad aparente relativa

profundidad = profundidad de raíces

Para el cálculo de tiempo de avance y receso se consideraron datos generales de surco, para el caso del maíz: espaciamento entre líneas 0.70 m, dimensiones de surco 350mm de profundidad - 100 mm ancho, profundidad efectiva de almacenamiento de 1,5 m y exponente del 0,4. Esta simulación opera combinando los datos de surco, pendiente y caudal. En el proceso de intervención se utilizó el

programa Excel de Microsoft para organizar toda la información obtenida en cada desempeño de riego.

Para la realización de este trabajo fueron proporcionados datos de 9 lotes de maíz de la totalidad de los evaluados durante la pasantía. No todos los lotes analizados contaban con la totalidad de los datos, es por esto por lo que se tomó como ejemplo el lote número siete para describir y detallar la información obtenida.

Al iniciar el desempeño se tomó información del lote por sus características y se dejó asentado el lugar, fecha, propietario, cultivo analizado, tipo de riego discriminando aporcado y sin aporcar, como también la profundidad efectiva de almacenamiento.

Lugar:	Pradere
Fecha:	Miércoles, Enero 16, 2019
Propietario:	N° 7
Cultivo:	Maíz
Tipo de riego:	surco aporcado
Profundidad efectiva almacenamiento:	1,5 m

Tabla 2. Información del lote

Luego de procesar los datos de las muestras de suelo, de la siguiente ecuación se obtiene la lámina neta de reposición (mm). La cual tiene en cuenta la profundidad efectiva de almacenamiento (D), peso específico aparente (PEA) equivalente a densidad aparente y la humedad gravimétrica a partir de las muestras tomadas a diferentes profundidades en cabecera, medio y pie del lote. La lámina requerida obtenida de esta ecuación es el primer dato que se carga en el software al iniciar el módulo de simulación.

Lámina reposición		H° Gr CC	H° Gr Tpo R	D	PEA	Lam neta
Prof						
0	0,25	17,87	7,16	0,25	1,620	43,36 mm
0,25	0,5	18,19	15,34	0,25	1,499	10,67 mm
0,5	1,5	21,52	18,79	1	1,392	38,10 mm
Lámina Requerida:						92,13 mm

Tabla 3. Cálculo de la lámina requerida

PREVIO AL RIEGO		Peso en Gr con cil. Incl						
	Prof	Peso H°	Peso seco	H° Gr/Gr SS	PEA gr/cm3	H° Vol/vol	Peso cilindro	
Cab	0-25	134,65	124,47	10,55688064	1,6195	17,09686819	28,04	
	25-50	139,93	125,75	15,12049478	1,4994	22,67166987	31,97	
	50-100	141,02	120,98	20,9689233	1,3921	29,19083813	25,41	
Med	0-25	126,66	118,35	9,499314129		0	30,87	
	25-50	150,81	134,19	15,58514629		0	27,55	
	50-100	157,75	138,66	16,94027864		0	25,97	
Pie	0-25	128,7	127,28	1,419574128		0	27,25	
	25-50	137,11	121,9	15,3218495		0	22,63	
	50-100	166,68	144,7	18,4519812		0	25,58	
48 Horas		Peso en Gr con cil. Incl						
	Prof	Peso H°	Peso seco	H° Gr/Gr SS	PEA gr/cm3	H° Vol/vol	Cilindro peso	
Cab	0-25	123,89	108,97	17,18		0	22,11	
	25-50	134,28	116,45	20,93		0	31,26	
	50-100	144,15	124,49	21,18		0	31,67	
Med	0-25	140,9	125,91	16,15		0	33,09	
	25-50	141,41	123,89	17,46		0	23,52	
	50-100	153,27	129,44	22,66		0	24,29	
Pie	0-25	124,21	107,68	20,28		0	26,17	
	25-50	121,23	107,52	16,18		0	22,79	
	50-100	166,37	141,99	20,73		0	24,37	

Tabla 4. Resultados de humedad previo y a las 48 horas del riego.

Habiendo analizado los requerimientos hídricos o demanda en las etapas más importantes del ciclo en maíz, expresados en valores de evapotranspiración del cultivo (ETc), también se aforaron los sifones que se emplearon para suplir las necesidades de riego (NR) del cultivo. En el caso del lote seleccionado, el número de sifones fue de 2 con un caudal de 0.35 y 0.4 l/s que al sumarlos dan como resultado el caudal total de 0,75 l/s. Por otro lado, el caudal unitario, el cual será utilizado en la fórmula de caudal total resulta del cociente entre 0,75 l/s y el ancho de surco 0,7 m obteniendo 1,07 l/s. El caudal o cantidad de agua que descarga cada sifón depende de su diámetro y de la diferencia de altura entre acequia y surco, denominada carga del sifón (Fernández Gómez, R. *et al*, 2010: 25). Se obtuvo a partir del aforo realizado con la regla medidora de CORFO y una manguera mencionada en el apartado “Materiales y métodos”.

Luego para obtener un valor de pendiente de - 21,6, es decir con un descenso de 21,6 cm cada 100 m, se tomaron lecturas de las 10 estacas a lo largo de los 222 metros del lote. Los datos de relevamiento planialtimétrico se detallan en la columna de la derecha:

DATOS DE LA PARCELA				NIVELACIÓN				
Largo:	222 mts.	Diámetro sifón:	1 "	Estaca	Distancia m	Lectura	cota	Pend m/m
Ancho:	0,7 mts.	Q SIFONES		cab	0	1,53	8,47	
P Mojado:	1 mts.	1	0,35 l/s.	1	11,1	1,535	8,465	-0,0004504504505
		2	0,40 l/s.	2	33,3	1,565	8,435	-0,0009009009009
DATOS DE RIEGO				3	55,5	1,575	8,425	-0,0001801801802
Nro sifones:	2 l/s.			4	77,7	1,64	8,36	-0,0008365508366
Q medio Sifon:	0,375 l/s.			5	99,9	1,67	8,33	-0,0003003003003
Q ingresado:	0,75 l/s.			6	122,1	1,76	8,24	-0,0007371007371
Q unitario:	1,071428571 l/s.			7	144,3	1,85	8,15	-0,0006237006237
Hora inicio:	7:06:00 a. m.	HH:mm:ss		8	166,5	1,94	8,06	-0,0005405405405
Hora corte:	9:14:00 a. m.	HH:mm:ss		9	188,7	2,005	7,995	-0,0003444621092
T aplicación:	128,00 min.			10	210,9	2,01	7,99	-0,00002370791844
				pie	222	2,01	7,99	0
							-0,48	-0,0004488995088
				PENDIENTE			-21,6	

Figura 13. Resultados de medición con odómetro, regla medidora de CORFO en dos sifones y relevamiento planialtimétrico en las 10 estacas del lote.

La tasa de infiltración es la velocidad de ingreso de agua al perfil a flujo no saturado, sujeto a fuerzas gravitacionales y a disminución a medida que el suelo se satura. El ensayo debe comenzar con el suelo en umbral crítico de riego de modo de conocer el comportamiento del ingreso del agua al suelo, en las mismas condiciones que se daría al realizarse el evento de riego. Este umbral es un punto intermedio entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, donde el cultivo no va a tener restricciones en lo que respecta a contenido de agua en el suelo, siendo este un factor determinante para el crecimiento del cultivo. En ese momento se repone la Lámina Neta de Reposición (LNR) entregando la Lámina Bruta de Reposición (LBR) que es la que contempla la Eficiencia de Aplicación (EA) propia del sistema en cuestión. El contenido de humedad del suelo es calculado a partir de las muestras tomadas con el barreno a diferentes profundidades.

En el desempeño, para obtener datos de infiltración en diferentes rangos de tiempo, se empleó la metodología de los anillos de Muntz. Como se mencionó anteriormente, en general se realiza en umbral crítico, pero debido a la fuerte sequía en materia de caudal y precipitaciones que atraviesa esta zona en donde el maíz recibe como mucho 3-4 riegos, el ensayo se realizó a humedad remanente del lote: se compilaron las lecturas durante 195 minutos hasta que se estabilizó la medida, es decir, tomar 3 medidas similares de infiltración acumulada en la misma cantidad de tiempo. En este caso, solo fue necesario enrasar a los 60 minutos hasta los 24 cm de la regla adosada al anillo. El enrase se realiza para mantener una carga constante de agua volviendo a rellenar el cilindro del interior cuando la columna de agua desciende por debajo de los 15 cm, de esta forma se minimiza los efectos de variación de la carga de agua en el valor de infiltración (Negro, 1998: 4-5).

SECTOR:	Cabecera	Resultados de ensayo			
T cum (min)	Lectura (cm)	Enrase	Lamina parcial acumulada (mm)	Lamina acumulada total(mm)	Inf. Instantánea (mm/h)
0	21,2				
0,5	19,9		13	13	
1	19,7		2	15	120
3	19,5		2	17	60
5	18,1		14	31	420
7,5	17,7		4	35	96
10	17,3		4	39	96
12,5	16,9		4	43	96
15	16,6		3	46	72
20	15,9		7	53	84
25	15,5		4	57	48
30	15		5	62	60
40	14,6		4	66	24
50	13,2		14	80	84
60	12,4	24	8	88	48
75	22,8		12	100	48
90	21,6		12	112	48
105	20,3		13	125	52
120	19,6		7	132	28
135	18,7		9	141	36
150	17,4		13	154	52
165	16,5		9	163	36
180	15,6		9	172	36
195	14,9		7	179	28

Tabla 5. Resultados de infiltración medida con doble anillo.

En el caso del riego, la velocidad de infiltración con que el agua se infiltra determina los tiempos de riego y permite calcular los caudales de manejo como las superficies a regar (Pannunzio *et al*, 2015: 29). En teoría, la infiltración instantánea va disminuyendo a medida que se satura el suelo, pero hay ciertos casos en la que la velocidad de infiltración podría aumentar dependiendo de ciertos factores que podrían producir esta variabilidad como: la textura predominantemente franco-arenosa en esta zona, la estructura y las características propias de la materia orgánica del suelo. Autores como Gregory (1987) mencionan otro factor a discutir como la presencia de raíces del maíz que serían un determinante para incrementar el espacio poroso del suelo y, a su vez, aumentar la permeabilidad. Por su parte

García Hernández (2008) afirma que la gran proporción y características del espacio poroso serían los factores determinantes del movimiento de agua y aire por estas grietas. Las características de los poros están determinadas por la estructura edáfica de los agregados y esta también interviene en el grado de interconexión de los poros lo cual influye en la infiltración y la permeabilidad de los suelos.

Fernández Gómez (2010), determina que en condiciones normales el suelo no es homogéneo en toda la parcela, sino que existen zonas donde la textura es diferente a otras, más compactado, más húmedo o seco, hay grietas o caminos preferenciales del agua. Siguiendo en esta misma línea, se podría inferir entonces que sucede lo mismo a diferentes profundidades analizadas en el ensayo de infiltración, generando este tipo de resultados como el mostrado en la tabla. Aunque se pueda pensar que el frente de humedecimiento es más o menos homogéneo, lo cierto es que la cantidad de agua infiltrada puede ser muy irregular. Otros factores que podrían afectar la velocidad de infiltración son la salinidad del suelo o del agua, salinidad que es predominante en esta zona, así como la diferente disposición de horizontes del perfil donde se realizó el ensayo (Pannunzio *et al*, 2015: 31). Ejemplo similar puede observarse en la tabla de la página 41 disponible en el trabajo práctico número 3 de Infiltración y calidad de agua de riego de la Cátedra de Sistemas de riego y drenaje (Pannunzio *et al*, 2015: 41). Por último, no debemos descartar la posibilidad de que se produzcan errores en el momento de la lectura por parte de los pasantes, que podrían conducir a un error de interpretación. Dado que los valores comprendidos entre 1-3 minutos fueron muy erráticos, no fueron considerados en la figura 14 para no perturbar la curva de tendencia, en el gráfico de la figura mencionada se detalla como la infiltración instantánea va disminuyendo en función del tiempo a medida que se satura el suelo.

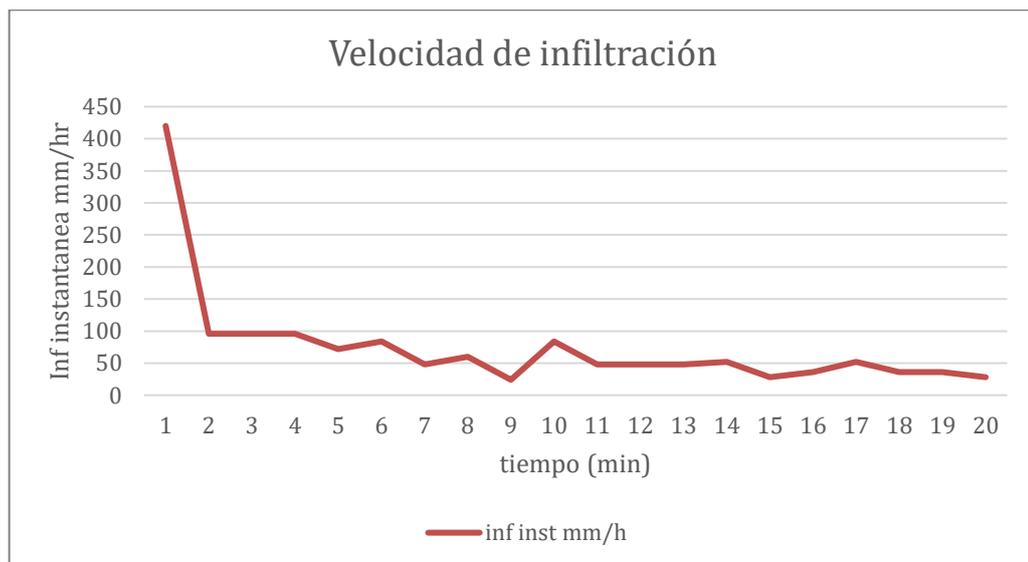


Figura 14. Infiltración instantánea en función del tiempo.

Los datos de infiltración fueron cargados en el software para obtener la ecuación respectiva de infiltración acumulada, utilizando el modelo empírico de Kostiakov (1932) que da como resultado la velocidad de infiltración en un tiempo t. En dicha ecuación se adecuaron las letras de cada parámetro a las usadas en el trabajo:

$$I_{ac} = A \cdot x^B$$

Donde:

- I<sub>ac</sub>= infiltración acumulada mm/hora
- A= representa la primera lámina infiltrada (mm) para un tiempo t=1 y se obtiene, analítica o gráficamente, a partir de ensayos de campo. Depende de la estructura inicial del suelo
- B= exponente adimensional que representa la pendiente de la curva. Se obtiene gráficamente a partir de ensayos de campo.
- x = tiempo de infiltración en minutos.

Obtenida la ecuación de infiltración acumulada, es posible despejar el tiempo necesario para que se infiltre la lámina neta, siendo esta la cantidad de agua que satisface la necesidad de riego hasta capacidad de campo. La lámina neta o de reposición depende de cada cultivo, de las características físicas, químicas y biológicas del suelo (textura, estructura, contenido de materia orgánica, etc.) y de la humedad del suelo (Tmartin, 2019). En la ecuación de infiltración acumulada se detalla tanto la ordenada al origen (A) como la pendiente (B). A partir de su derivada se obtiene la ecuación de infiltración instantánea, siendo la ordenada al origen (a) y su la pendiente (b) resuelto a continuación. Esta última se utiliza para determinar cuándo se produce la infiltración básica.

$$I_{ac} = A \cdot x^B \quad \longrightarrow \quad A \cdot B \cdot x^{B-1} = a \cdot x^{-b} \quad \longrightarrow \quad I_i = a \cdot x^{-b}$$

El cálculo la infiltración básica, corresponde al valor en que la variación de la velocidad de infiltración respecto al tiempo es menor o igual que el 10 % de su valor (Maldonado Rojas, 2001: 18-20). En otras palabras, corresponde al valor en que la variación de la velocidad de infiltración respecto al tiempo es prácticamente despreciable. En el caso del lote analizado su resultado fue de 17,7 mm/h.

ECUACIÓN DE KOSTIAKOV			
A:	13,723	a:	6,403
B:	0,467	b:	-0,533
I <sub>b</sub>	17,712 mm/h		

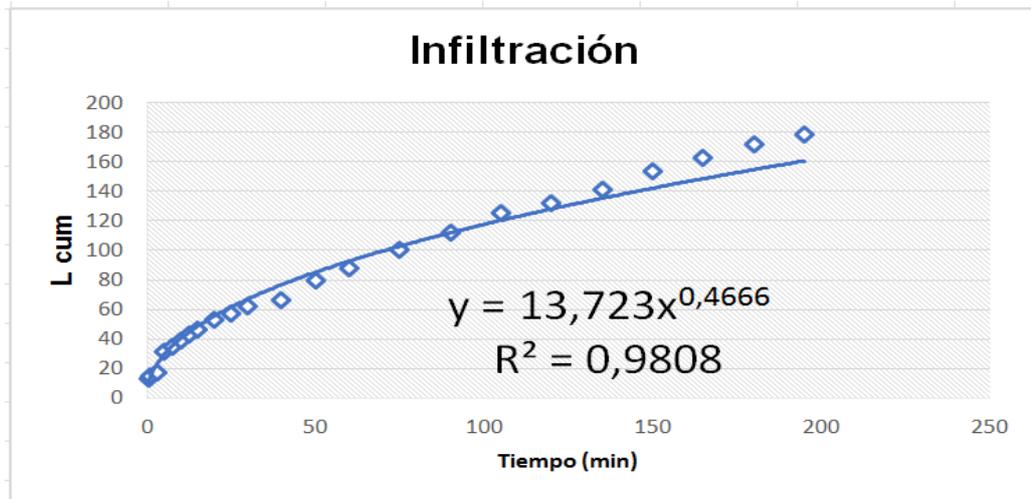


Figura 15. Gráfico de infiltración acumulada a partir de la ecuación de Kostiakov.

Se destaca que esta metodología difiere a cómo se aprendió en clase, en donde lo primero que se calculaba era la infiltración instantánea y a partir de su integración, la infiltración acumulada. En la pasantía se procedió primero a cargar los datos de infiltración acumulada al software, del cual se obtiene su ecuación, su derivada para el cálculo de infiltración instantánea y el gráfico de la figura 15.

Siguiendo con el desempeño, al comenzar el riego de cada surco por medio de los dos sifones empleados, se tomó la hora de llegada del agua a cada una de las diez estacas para luego poder graficar el tiempo de avance del agua a lo largo del surco. Del mismo modo, una vez retirado el sifón del cual se aforó el caudal, se registró el tiempo de receso de agua en cada estaca, definiendo al mismo como el tiempo en el que el agua desaparece de la superficie del suelo.

AVANCE		HH:mm:ss			
Estaca	Distancia	Muestra 1	Muestra 2	Media	Min
cab	0	7:06		7:06	00
1	11,1	7:09	7:05	7:07	01
2	33,3	7:14	7:11	7:12	06
3	55,5	7:22	7:18	7:20	14
4	77,7	7:31	7:25	7:28	22
5	99,9	7:41	7:34	7:37	31
6	122,1	7:55	7:42	7:48	42
7	144,3	8:11	7:50	8:00	54
8	166,5	8:28	7:59	8:13	67
9	188,7	8:48	8:10	8:29	83
10	210,9	8:59	8:22	8:40	94
pie	222				
RECESO		HH:mm:ss			
Estaca	Distancia	Muestra 1	Muestra 2	Media	Min
cab	0	9:14		9:14	128
1	11,1	9:39	10:11	9:55	169
2	33,3	10:17	10:15	10:16	190
3	55,5	9:41	9:58	9:49	163
4	77,7	9:43	9:46	9:44	158
5	99,9	9:43	9:48	9:45	159
6	122,1	9:44	9:49	9:46	160
7	144,3	9:50	10:22	10:06	180
8	166,5	9:46	10:24	10:05	179
9	188,7	10:33	10:36	10:34	208
10	210,9	10:31	10:47	10:39	213
pie	222				

Tabla 6. Resultados de tiempo de avance y receso.

La simulación del evento de riego a partir del programa WinSRFR 4.1.3 detalla la información que se muestra en la imagen siguiente. Los resultados concretamente son:

- Lámina bruta (mm): cantidad de agua total que se entrega por riego en la cabecera del lote.
- Lámina infiltrada (mm): cantidad de agua que representa la lámina bruta-lámina escurrida cuando hay desagüe. Como en este lote no había desagüe al pie resulta igual que la lámina bruta de reposición (LBR).
- Lámina ¼ (mm): representa la media del cuarto más afectado del lote.
- Lámina de reposición (mm): representa la cantidad de agua que debería haber quedado almacenada en el perfil luego del evento de riego.

RESULTADOS									
								<b>EAP (%)</b> :	<b>100</b>
		<b>LÁMINA BRUTA :</b>	<b>37</b>	<b>mm.</b>				<b>EAL (%)</b> :	<b>40</b>
		<b>LÁMINA INF.</b>	<b>37</b>	<b>mm.</b>				<b>EDI (%)</b> :	<b>93</b>
		<b>LÁMINA 1/4 &lt;</b>	<b>35</b>	<b>mm.</b>					
		<b>LÁMINA REPOSICIÓN:</b>	<b>92</b>	<b>mm.</b>				<b>Pp (%)</b> :	<b>0</b>
PATRÓN DE INFILTRACIÓN									
Estacas	Dist (m)	Ta (min)	Tr (min)	Top (min)	Icum (mm)	Icum Aj. (mm)	dal (mm)	dper (mm)	Déficit (mm)
cab	0,00	0	128	128	189	36	92	0	56
1	11,10	1	169	168	214	41	92	0	51
2	33,30	6	190	184	223	43	92	0	49
3	55,50	14	164	150	203	39	92	0	53
4	77,70	22	159	137	194	37	92	0	55
5	99,90	32	160	128	189	36	92	0	56
6	122,10	43	161	118	182	35	92	0	57
7	144,30	55	180	126	187	36	92	0	56
8	166,50	68	179	112	177	34	92	0	58
9	188,70	83	209	126	187	36	92	0	56
10	210,90	95	213	119	182	35	92	0	57
pie	222,00	95	213				92	0	92
<b>PROMEDIO:</b>					<b>193</b>	<b>37,07</b>	<b>92,13</b>	<b>-</b>	<b>58,15</b>

Tabla 7. Resultados del software.

Como puede observarse en la parte superior de la Tabla 7, también se detallan las eficiencias. Cabe resaltar que la eficiencia de conducción no fue considerada, dado que las mediciones fueron realizadas a partir de la oferta de agua liberada por cada sifón al lote.

Las eficiencias que permite visualizar la Tabla son:

*Eficiencia de aplicación (EAP%)*: es la relación que existe entre el volumen de agua requerido por el cultivo (LNR) representado en la tabla como el promedio de la infiltración acumulada ajustada ( $I_{ac}=LNR$ ) y el volumen de entrada de agua o total aplicado al sector de riego (LBR). Este último se descompone a su vez en volumen de agua en zona de raíces, volumen de agua escurrido y percolado (Maldonado Rojas, 2001: 41-46). En el caso del lote n°7 la misma fue del 100% lo que no asegura un excelente riego, resultado que será explicado con las eficiencias siguientes.

*Eficiencia de almacenaje (EAL%)*: es la relación entre el agua almacenada en la zona radical y el agua necesaria antes del riego en la zona radical. El resultado de eficiencia de almacenaje baja de 40% obtenido en este lote, refleja que de toda el agua que ingresó al surco, solo un 40% de la zona de raíces alcanzó capacidad de campo no cubriéndose el porcentaje restante. El almacenamiento comienza cuando se completa el avance y continúa hasta que se corta el suministro de agua, es decir, hasta que se alcanza el tiempo de aplicación del riego (Fernández Gómez *et al*, 2010:12). La mejora planteada para la eficiencia del lote radica en el incremento de la eficiencia de almacenaje. Si se aumenta el tiempo total de riego (el cual se compone de el tiempo de mojado y el tiempo de aplicación) a partir del tiempo de

aplicación, se logrará que la totalidad de la zona de raíces alcance capacidad de campo. Al tener una eficiencia de aplicación del 100%, el agua llega a todos los puntos del surco, pero a un tiempo demasiado rápido para que infiltre la cantidad de agua necesaria. Por lo tanto, se debería aplicar una retención al final del surco para permitir el aumento del tiempo de aplicación y mejorar de esta manera la infiltración en la zona de raíces sin obtener pérdidas desmedidas al pie del lote.

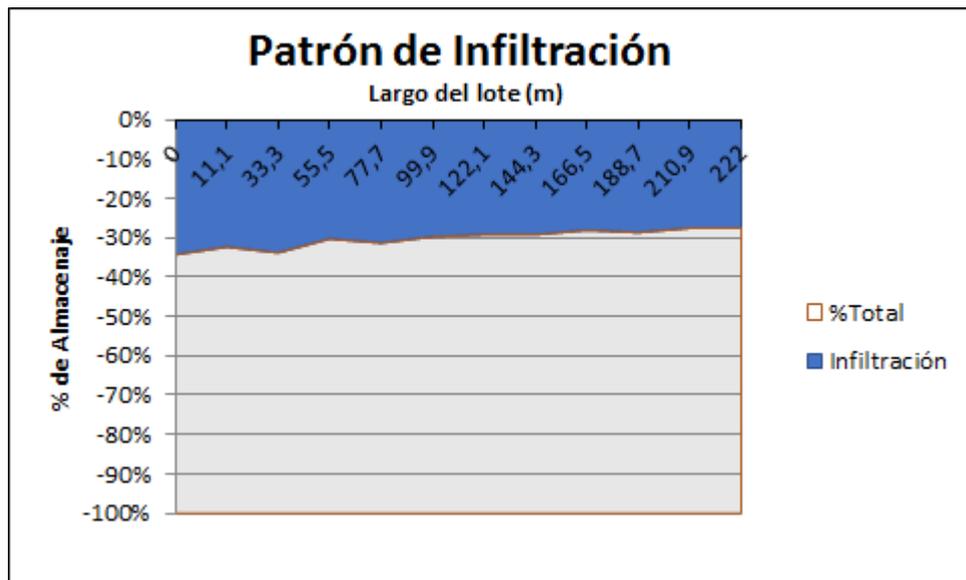


Figura 16. Resultado del patrón de infiltración hasta la zona de raíces que muestra similitud con el segundo caso de la figura 17.

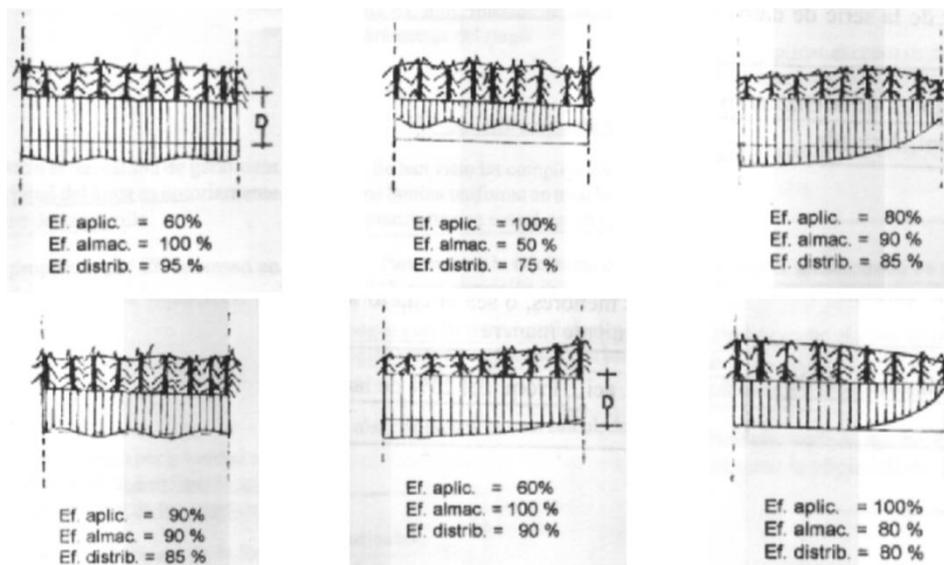


Figura 17. Análisis de eficiencia en diferentes situaciones de riego. Ejercitación propuesta para el curso de Sistema de Riego y Drenaje.

*Eficiencia de distribución (EDI%)*: puede ser analizado a través de la uniformidad de distribución que es la relación entre la lámina media infiltrada en el cuarto menos regado del lote y la lámina media infiltrada en el lote. Es de gran importancia que la distribución del agua en la zona de raíces sea uniforme, ya que la respuesta del cultivo está relacionada con la distribución. Una baja eficiencia de distribución indicaría excesos de láminas en algunos sectores del lote y déficit en otros. En el caso del lote analizado resultó en 93%, un valor alto, permitiendo inferir que el cultivo recibió cantidades de agua parecidas en todo el lote. En los lotes analizados, la menor eficiencia obtenida fue de 73%. A corto plazo una medida para mejorar la uniformidad podría ser aumentar los caudales para que el agua avance rápido logrando láminas más uniformes y más chicas.

Por último, con los datos registrados a campo se graficó los tiempos de avance o llegada de agua a cada estaca, así como el tiempo de receso o desaparición de agua de cada estaca a lo largo de los 222 m del lote.

Dist (m)	Ta (min)	Tr (min)
0	0	128
11,1	1	169
33,3	6,5	190
55,5	14	163,5
77,7	22	158,5
99,9	31,5	159,5
122,1	42,5	160,5
144,3	54,5	180
166,5	67,5	179
188,7	83	208,5
210,9	94,5	213
222	96	214

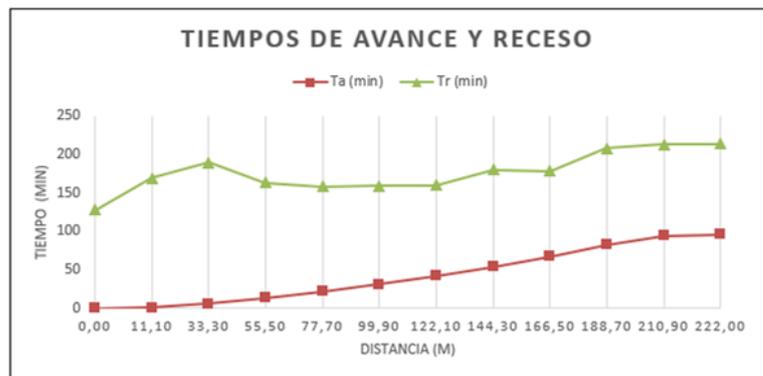


Figura 18. Gráfico de tiempos de avance y receso

Luego de interpretar los datos recibidos, menciono la importancia que tiene el software a nivel técnico, organizacional y económico no solo para cada productor sino para la zona en general. En concordancia con Reza Mazarei (2017) el WinSRFR 4.1.3 es el software más poderoso que se provee para la evaluación de la irrigación de la superficie.

El beneficio técnico radica en distinguir fallas o generar mejoras en cuanto al manejo dentro del lote. El manejo no solo integra la mejor combinación de infiltración del suelo, pendiente, largo del lote, caudal, número de sifones o surcos regados y tiempo de aplicación para aumentar la eficiencia sino también, la habilidad del regante. Por otro lado, en términos de beneficio organizacional este estudio a nivel zonal permite destinar esfuerzos a aquellos lugares en donde se presentan bajas eficiencias o mayores pérdidas, logrando una mejor conservación del agua y a la protección de la calidad ambiental.

Desde el punto de vista económico, a nivel lote se podría disminuir costos por: aumento de eficiencia que deriva en mejora de rendimientos, mejor administración del tiempo invertido en el riego para destinar mano de obra controlando otros aspectos del campo que necesitan supervisión (monitoreo, aplicaciones, confección de reservas).

En el caso de CORFO permite la mejor administración del caudal por propietario. En algunas parcelas, el agua suministrada por la red de riego es la única disponible para el consumo animal. En la reunión de productores de la zona (Pedro Luro, Enero 2020) se discutió el corte anticipado de agua del ciclo 2020. Los productores mostraron su preocupación por la falta de anticipación para hacer reservas de agua para el invierno, cuando se corta el agua y la falta de reserva de la misma “reduce el campo agrícola a la mitad”. Como esta etapa es la de recría, la presencia de agua mejora el consumo de materia seca. La aplicación de una mejor tecnología permitiría hacer un mejor uso del caudal total que deriva del dique y destinar parte del agua a ganadería.

En el gráfico siguiente se muestran la mayoría de las variables analizadas en este trabajo, resalto a través de esta, la importancia de esta iniciativa de toma de datos con el fin de entender cómo se relacionan estas variables, qué variables debo trabajar para finalmente tomar la decisión correcta y mejorar la eficiencia. El desafío que se plantea es el conocimiento de la eficiencia como indicador, además de la medición de las variables mencionadas y la capacitación de los regantes, siendo en algunos casos los causantes de la mayor pérdida de eficiencia.



Figura 19. Gráfico que muestra la interacción entre todas las variables que afectan el riego (Ciancaglini *et al*, 2015: 35).

Si bien el trabajo se realizó en base a un lote en particular, los datos obtenidos permiten analizar y presentar conclusiones en una perspectiva más generalizadora. Para mostrar todos los escenarios que se obtuvieron en los desempeños, se confeccionó el gráfico siguiente que muestra la variabilidad de eficiencias en los lotes de maíz, junto con sus respectivas láminas de reposición. Se considera este

gráfico de utilidad para futuros análisis de la pérdida de agua a nivel de cada desempeño:

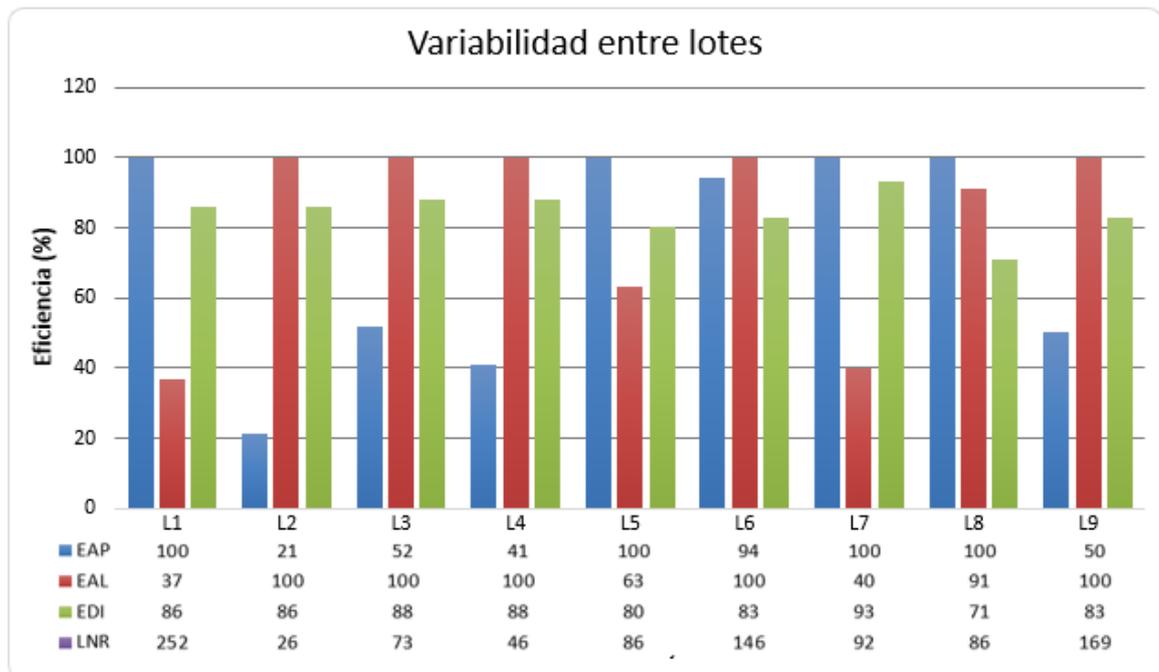


Figura 20. Gráfico de eficiencias en función del lote analizado en cada desempeño de riego.

Por otro lado, se graficó la variabilidad que hay intralote de las láminas brutas y las láminas realmente necesarias a aplicar. Esto permite notar que una alta eficiencia no siempre está relacionada con una lámina bruta chica (Fig.21). Nos indicaría que existen muchas más variables a considerar, teniendo en cuenta las condiciones propias de cada lote, la crisis hídrica de la zona y el manejo particular de cada productor.

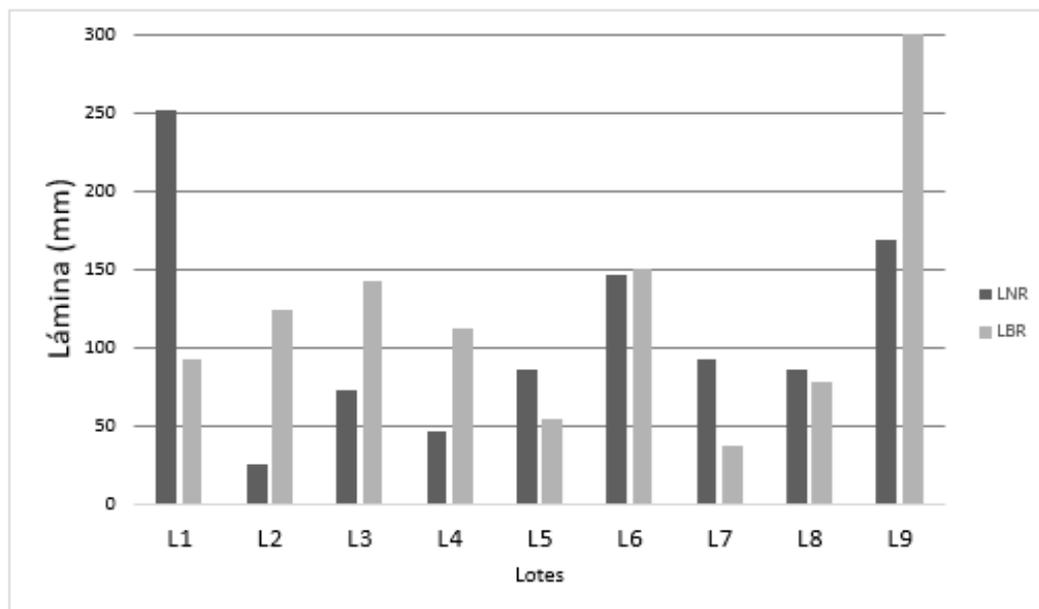


Figura 21. Gráfico de variabilidad de las láminas aplicadas.

## 5) CONCLUSIÓN

La crisis hídrica en la Cuenca del Río Colorado insta a que CORFO tome medidas a corto, mediano y largo plazo. Durante muchos años de gestión se ha trabajado para que la zona continúe abastecida de agua. Medidas a corto plazo como disminuir las pérdidas por infiltración y mejorar la eficiencia de riego intralote se tornan imprescindibles para la administración en tiempos de escasez.

El presente trabajo se fundamenta en la premisa que mejorar la eficiencia es una de las claves de la gestión de riego.

Para justificar esta premisa se analizó el desempeño de riego del lote n°7, a través de la evaluación de cada una de las variables que afectan a la eficiencia de aplicación de riego. La decisión a tomar para mejorar la eficiencia en este lote sería a través del aumento el tiempo de aplicación de riego para que la zona de raíces en su mayor parte alcance capacidad de campo.

Se destaca que CORFO continúa con los desempeños de riego para obtener mayor número de datos y poder hacer un análisis integral, con mayor precisión de la problemática de eficiencia en la zona. Sería altamente recomendable que los productores tengan noción de indicadores como la eficiencia de riego, para disminuir pérdidas de agua, siendo las principales en conducción, tiempo de aplicación y aplicación en sí.

## 6) **BIBLIOGRAFÍA**

- Antúnez, A. Felmer, S. Mora, L. (2009). “Eficiencia de riego en sistemas localizados”, en Boletín INIA n° 190, p 73-90. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36474.pdf>
- Ayo, V. et al (2018). Ensayo de laboratorio: Infiltración básica. 1-22. Disponible en: <https://es.slideshare.net/WILSONESCUDERO4/hidrologia-infiltracion-96570365>
- Bases para el Acuerdo Interprovincial del COIRCO.* (2013-2017). Comité Interjurisdiccional del Río Colorado. *Segunda Edición – Versión digital.* 11-15. Disponible en: <https://www.coirco.gov.ar/download/institucionales/institucionales-coirco/Reglamento%20y%20Estatuto%20Coirco.pdf>
- Bautista, E. Schleguel, J.L. Strelkoff, T.S. (2012). “ Win SRFR 4.1 User manual”. USDA-ARS Arid Land Agricultural Research Center, vol.21881. Disponible en: [https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20200515/WinSRFR4\\_UserManual.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20200515/WinSRFR4_UserManual.pdf)
- Bongiovanni, M. (S/D). EFICIENCIA DE RIEGO EN CEBOLLA. Artículo impreso facilitado por la Directora del Área de Desarrollo: Ing. Úrsula García Lorenzana
- Carbó, J. I. (2009) “Causas de la variación del rendimiento de maíz bajo riego en dos lotes del valle inferior del Río Colorado”. Bahía Blanca. Universidad Nacional del Sur, Biblioteca de Agronomía. Signatura 633.15 C264.
- Castañón, G. (2000) *Ingeniería del Riego. Utilización Racional Del Agua.* Madrid. Paraninfo Thomson Learning.
- Ciancaglini, N., Liotta, M. A., Estevez, A., Carrión, R. A., Paz, M. L., & Graffigna, M. L. (2015). Riego superficial. PROSAP; INTA. p 1-35 Disponible: [https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/4529/INTA\\_EEASanJuan\\_Ciancaglini\\_Riego\\_superficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/4529/INTA_EEASanJuan_Ciancaglini_Riego_superficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cirone, M. (2014) “La Gestión de la Cuenca del Río Colorado: Análisis de los aspectos más destacables del COIRCO”. SEDICI. Universidad Nacional de La Plata. Pp.169-178.
- Corfo- Su función.* Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (2020), Institucional. Disponible en: <https://corfo.gob.ar/corfo/institucional/>.
- Corfo- S/D Valle Bonaerense del Río Colorado.* (1. Características fisiográficas originarias; 2) Proceso de transformación del valle en un área de regadío; 3) Proceso de poblamiento; 4) Infraestructura actual; 5) Área de riego; 6) Actividad

económica. Artículo impreso facilitado por la Directora del Área de Desarrollo:  
Ing. Úrsula García Lorenzana

Corfo- CUENCA DEL RÍO COLORADO-Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (2015). Disponible en: <https://corfo.gob.ar/cuenca-del-rio-colorado-2/>

Corfo- VENCIMIENTO CUOTA 4/2018 CANON DE RIEGO 15/01/2019. Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (2019). Disponible en: <https://corfo.gob.ar/vencimiento-cuota-4-2018-canon-de-riego-15-01-2019/>

Corfo- PROGRAMA DE DOTACIONES DE RIEGO. Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (2019). Disponible en: <https://corfo.gob.ar/programa-de-dotaciones-de-riego/>

Corfo y el cuidado responsable del agua en la región (2015) Publicado en *La Nueva* 6-5-2015. Disponible en: <https://www.lanueva.com/nota/2015-6-5-0-14-0-corfo-y-el-cuidado-responsable-del-agua-en-la-region>

Dewedar, O., Mehanna, H., El-Shafie, A. (2019). Validation of WinSRFR for some hydraulic parameters of furrow irrigation in Egypt. *Plant Archives*, 19(Supplement 2), 2108-2115. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/338557991\\_VALIDATION\\_OF\\_WINSRFR\\_FOR\\_SOME\\_HYDRAULIC\\_PARAMETERS\\_OF\\_FURROW\\_IRRIGATION\\_IN\\_EGYPT](https://www.researchgate.net/publication/338557991_VALIDATION_OF_WINSRFR_FOR_SOME_HYDRAULIC_PARAMETERS_OF_FURROW_IRRIGATION_IN_EGYPT)

*En plena sequía, sube hasta un 28% el canon de riego en el sur bonaerense.* Publicado en *Diario Letra P.* (2018). Disponible en: <https://www.lettrap.com.ar/nota/2018-4-4-12-36-0-en-plena-sequia-sube-hasta-un-28-el-canon-de-riego-en-el-sur-bonaerense>

Fernández Gómez, R. *et al* (2010). Manual de riego para Agricultores: módulo 2. *Riego por superficie. Consejería de Agricultura y Pesca. Servicio de Publicaciones y Divulgación, DL Sevilla. P. 9-25.* Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego\\_por\\_superficie\\_baja.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf)

García Hernández, M. A., Castellanos-Vargas, I., Cano-Santana, Z., & Peláez Rocha, C. M. (2008). Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados. *Terra Latinoamericana*, 26(1), p.21-27. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792008000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100003)

Gregory, P. J., Rose, D. A., & Lake, J. V. (1987). SEBS 30 Root development and function: effects of the physical environment. (Vol. 30). CUP Archive. Cambridge University Press. Cambridge, UK. Disponible en: <https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=OyQ9AAAIAAJ&oi=fnd&pg=>

[PR6&dq=Gregory,+P.+J.,+J.+V.+Lake,+and+D.+A.+Rose.+1987.+Root+development+and+function:+effects+of+the+physical+environment.+Cambridge+University+Press.+Cambridge,+UK.&ots=PTCezBvY9M&sig=vxSWOzZIElyONT2s0ekLi9h4sk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://doi.org/10.1017/9781107300000.006)

Inta (2014). *Estimación de la posible disminución en el Valor de la Producción del Valle Bonaerense del río Colorado como consecuencia de una disminución en la cantidad de agua disponible*. INTA EEA Hilario Ascasubi. PRET BASUR-1272307-CORFO río Colorado. Artículo impreso facilitado por la Directora del Área de Desarrollo: Ing. Úrsula García Lorenzana

Inta (2015-2016). *Estimación de la posible disminución en el valor de la producción del valle bonaerense del río Colorado (VBRC)*. Iurman, D. (coord.) Disponible en:  
[http://consorciohidraulico.com.ar/userfiles/Informes/Estimacion%20perdidas%20VBRC%202015\\_2016%20\(2\)%20\(1\).pdf](http://consorciohidraulico.com.ar/userfiles/Informes/Estimacion%20perdidas%20VBRC%202015_2016%20(2)%20(1).pdf)

Lema, R. (2016). Administración de sistemas de riego, con análisis del caso corfo. Bahía Blanca. Universidad Nacional del Sur. Disponible en:  
<http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/3449/1/TesisLemaAdmSistemasderiego.pdf>

Liotta, M. (2002). *Medición del Caudal del Agua de Riego. Hoja informativa para el sector agropecuario*. INTA. Disponible en:  
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-hi1medariego.pdf>

Maldonado Rojas, T. (2001). Capítulo 1: Revisión de bases técnicas. Disponible en:  
[http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/reclat/pdf/MR\\_cap1.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclat/pdf/MR_cap1.PDF),  
caratula  
[http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/reclat/pdf/MR\\_indice.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclat/pdf/MR_indice.PDF)

Maldonado Rojas, T. (2001). Capítulo 3: Eficiencia de riego. Disponible en:  
[http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/reclat/pdf/MR\\_cap3.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclat/pdf/MR_cap3.PDF)

Martínez, R., Prieto, D., Antúnez, A., Pla, M., & Zelmer, H. (2016). Evaluación del Riego Superficial como herramienta para el mejoramiento del diseño y operación de los sistemas. Disponible en:  
<http://consorciohidraulico.com.ar/userfiles/Informes/2016-2017/Evaluaci%C3%B3n%20Riego%20superficial%20Manfredi%20.pdf>

Matilla, C. (uploads 2015). Revestimiento de acequias. Disponible en:  
<https://corfo.gob.ar/wp-content/uploads/2015/12/revestimientodeacequias.pdf>

Mazarei, R., Naseri, A. A., Mohammadi, A. S., & Izadpanah, Z. Optimize irrigation performance Based on Inflow and Cut-off Time. p1-6. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/profile/Reza\\_Mazarei3/publication/337480151\\_O](https://www.researchgate.net/profile/Reza_Mazarei3/publication/337480151_O)

[Optimize irrigation performance Based on Inflow and Cut-off Time Case Study Salman Farsi Province Cultivation Farms in Khuzestan-Iran/links/5dda7752299bf10c5a2e7a69/Optimize-irrigation-performance-Based-on-Inflow-and-Cut-off-Time-Case-Study-Salman-Farsi-Province-Cultivation-Farms-in-Khuzestan-Iran.pdf](https://www.researchgate.net/publication/312111111/Optimize-irrigation-performance-Based-on-Inflow-and-Cut-off-Time-Case-Study-Salman-Farsi-Province-Cultivation-Farms-in-Khuzestan-Iran)

Negro, V. (1998). Apuntes de infiltración. Cátedra de hidrología agrícola. Universidad de Lomas de Zamora. Disponible en: <https://es.slideshare.net/VicNeg/infiltracion-10217844>

Pannunzio, A. et al (2015). TP3: Infiltración y calidad de agua de riego. p.31 .Material de catedra. Facultad de Agronomía UBA. Disponible en: CED.

Prosap- Instructivos. (R014) MEDICIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN EL SUELO MEDIANTE INFILTRÓMETROS DOBLE ANILLO. Disponible en: <http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20R014%20infiltrometro%20doble%20anillo.pdf> ; o bien (2016) "ESCUELA Y LABORATORIO MOVIL DE IRRIGACIÓN" Disponible en: <http://www.prosap.gov.ar/Docs/Protocolo%20General%20para%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Riego%20por%20Superficie.pdf>

Roldán, D. (2012) Caudales del río Colorado. Publicado en *La Nueva* 6-9-2012 Disponible en: <https://www.lanueva.com/nota/2012-9-6-9-0-0-caudales-del-rio-colorado>

Roldán, D. (2013). Una dura crisis que no desaparece. COIRCO. Publicado en *La Nueva* 8-9-2013. Disponible en: <https://www.coirco.gov.ar/una-dura-crisis-que-no-desaparece/>

Sánchez, R. (2013). Estimación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado. Informe técnico n°40. ISSN 0328-3399. INTA

Sánchez, R. (2014). INFILTRACIÓN EN LOS SUELOS REGADOS DEL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO, ARGENTINA. E.E.A. INTA Hilario Ascasubi. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-infiltracion-en-el-vbrc-sanchez-ramon-inta-ascasubi.pdf>

Satorre, E., Benech, R., Slafer, G., De La Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M., Savin, R. (Eds.) (2003). *Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires.

Tmartin (2019). Metodología para evaluaciones de eficiencia de riego. Disponible en: <https://www.irrigacion.gov.ar/observatorio/es/articulos/eficiencia/metodologia-para-evaluaciones-de-eficiencia-de-riego>

Waller, P., Yitayew, M. (2016). Irrigation and drainage engineering. Springer. Disponible en:

[https://books.google.com.ar/books?id=h2f\\_CgAAQBAJ&pg=PA670&lpg=PA670&dq=winsrfr+4+kostiakov&source=bl&ots=2IQsqR3M9e&sig=ACfU3U22cr1SReuT0bwHxpT0GcARL15YhQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwim8b3a39bpAhX0ILkGHQOXA7wQ6AEwAHoECAcQAQ#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.ar/books?id=h2f_CgAAQBAJ&pg=PA670&lpg=PA670&dq=winsrfr+4+kostiakov&source=bl&ots=2IQsqR3M9e&sig=ACfU3U22cr1SReuT0bwHxpT0GcARL15YhQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwim8b3a39bpAhX0ILkGHQOXA7wQ6AEwAHoECAcQAQ#v=onepage&q&f=true)