

TESIS DE GRADO-INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE ÁREA DE CULTIVOS RESTRINGIDOS ESPECIALES, ACRE AGRELO, LUJÁN DE CUYO, MENDOZA, ARGENTINA



Tesista: María C. Troncoso Scavarda

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo

Almirante Brown, Chacras de Coria, Mendoza

Año 2024

PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE ÁREA DE CULTIVOS RESTRINGIDOS ESPECIALES, ACRE AGRELO, LUJÁN DE CUYO, MENDOZA, ARGENTINA

Tesista

María C. Troncoso Scavarda

celinatroncoso19@gmail.com

Director

M Sc. Carlos Schilardi

cschilardi@fca.uncu.edu.ar

Codirector

Mgter Leandro Martin

lmartin@fca.uncu.edu.ar

Miembros del comité evaluador

Leandra Ibareguren

leandra.ibareguren@gmail.com

Pedro Bonoris

pedro.bonoris@trivento.com

Santiago Echevarría

eechevarria@fca.uncu.edu.ar

RESUMEN

Para afrontar estratégicamente la creciente tensión del recurso hídrico que atraviesan los distintos usuarios (agrícola, urbano e industrial) ya sea por el crecimiento poblacional y/o los efectos del cambio climático, el reúso de efluentes tratados urbanos e industriales en el riego agrícola se presenta como una mejora que alivia la carga contaminante sobre el medio ambiente, al tiempo que provee de recursos hídricos para la agricultura, aportando un agregado a la fertilidad del suelo y a los cultivos por poseer nutrientes y materia orgánica.

La provincia de Mendoza es pionera a nivel nacional en el tratamiento de efluentes y el reúso de los mismos para la agricultura. La mayoría de las plantas de tratamientos de tipo cloacales y municipales de la provincia, enfrentan limitaciones debido al crecimiento poblacional, requiriendo una expansión inmediata o la creación de nuevas instalaciones para el reúso. La adecuada planificación de las zonas ACRE (áreas de cultivos restringidos), es un aspecto fundamental para disponer de forma eficiente los efluentes a través del riego agrícola. Es frecuente ver plantas de tratamiento de efluentes con una mala planificación del riego agrícola, lo que trae como consecuencia problemas de exceso o déficit de riego, que terminan atentando con el suelo y cultivo, disminuyendo su capacidad evapotranspiratoria y complicando la disposición adecuada de las aguas residuales.

La presente tesis tiene el objetivo de realizar la planificación estratégica de la reutilización de los efluentes domiciliarios de la Planta de Tratamiento Agrelo para el riego agrícola en un área ACRE. La planificación se desarrolló para tres escenarios de disposición de efluentes según el crecimiento de las conexiones domiciliarias: 1° escenario = 400 m³ día⁻¹ (equivalente a 400 conexiones domiciliarias), 2° escenario = 800 m³ día⁻¹ (800 conexiones domiciliarias) y 3° escenario = 1600 m³ día⁻¹ (1600 conexiones domiciliarias).

Se propone el desarrollo de dos esquemas de cultivos: a) alfalfa b) verdeo de invierno (cebada, centeno, avena, raigrás). La superficie factible de riego planificada para evapotranspirar de forma razonable el efluente será: 1° escenario a 400 m³ día⁻¹: 3.5 ha de alfalfa y 7.5 ha de verdeo de invierno; 2° escenario a 800 m³ día⁻¹: 7 ha de alfalfa y 15 ha de verdeo de invierno; y para el escenario 3° escenario a 1600 m³ día⁻¹: 14 ha de alfalfa y 30 ha de verdeo de invierno. Actualmente la Planta de Tratamiento de Efluentes Agrelo dispone de 200 conexiones domiciliarias por lo cual deberá disponer de 1.75 ha de alfalfa y 3.75 ha de cultivos de verdes.

Se ha seleccionado el método de riego superficial por melgas sin desagüe al pie, con una eficiencia de manejo promedio del 50%. Se encuentra dentro de lo permitido para la legislación provincial y es un método que está en equilibrio con la economía de los cultivos a regar en la zona de estudio. Para el adecuado manejo del método de riego se caracterizó la zona de estudio en dos ambientes de riego: Zona 1 o Norte: lámina disponible total de 40.05 mm en alfalfa y 26.70 mm en verdeo de invierno, y Zona 2 o Sur: lámina disponible total: 117.72 mm en alfalfa y 74.48 en verdeo.

Para el diseño de la calendarización del riego de los cultivos, se ha analizado de forma integral toda la información disponible del clima, suelo y cultivo. Se han determinado las necesidades netas y brutas de riego de los cultivos propuestos y la calendarización estratégica del riego agrícola de la zona ACRE. Se han propuesto dos tipos de calendarios de riego en función del cultivo y ambientes de riego que dependen del agua disponible total del suelo. Para cada ambiente de riego definido y cultivo se detalla la frecuencia y

lámina de riego para todo el ciclo del cultivo, con el objetivo de optimizar el manejo del riego y maximizar la evapotranspiración de cultivo, permitiendo así una eficiente reutilización del efluente. Finalmente se proponen algunas recomendaciones de manejo alternativo para el riego de los efluentes para la zona norte del ACRE que dispone de una alta pedregosidad en el perfil del suelo.

Palabras clave: ACRE, cultivos, efluentes, riego.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi mamá Mariel, papá Enrique y hermano Juan que me ayudaron a levantarme y seguir. Este logro es de ustedes también, los amo mucho.

A mi Tata que me dio la oportunidad de estudiar y a mis abuelas, Mamina y Abu que rezaron por mi cada vez que iba a rendir.

A mi familia de los domingos, tías y primos que me apoyaron.

A mis amigos que festejaron cada logro conmigo.

A mi director Carlos, a mi codirector Leandro y a Roció que me enseñaron y acompañaron en todo el proceso.

A mis evaluadores, Leandra, Santiago y Pedro que dedicaron tiempo y esmero para corregir la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. Presentación de tema de estudio	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Marco teórico	3
1.3.1. Marco internacional de uso de efluentes	3
1.3.1.1. Objetivos de desarrollo sostenible	3
1.3.2. Marco nacional de uso de efluentes	4
1.3.2.1. Legislación nacional	4
1.3.3. Marco provincial de uso de efluentes	5
1.3.3.1. Legislación provincial	5
1.3.3.2. Definición acre	6
1.3.3.3. Descripción acres mendoza	7
1.3.3.4. Problemas, desafíos y oportunidades	8
1.3.3.5. Tendencia del crecimiento poblacional y detalles de la creación del acre agrelo	9
1.3.3.6. Desafíos para el diseño y el manejo del acre agrelo	11
2. Materiales y métodos	12
2.1. Área de estudio	12
2.1.1. Cartografía de base y curvas de nivel	13
2.2. Caracterización del efluente	13
2.3. Caracterización de suelos	15
2.3.1. Muestreo de suelo	15
2.3.2. Parámetros de suelo	16
2.3.3. Zonas de manejo	17
2.4. Calendarización del riego de los cultivos	18
2.4.1. Información meteorológica	18
2.4.2. Coeficientes de cultivos y etapas de desarrollo	19
2.4.3. Demanda de riego de los cultivos	20
2.4.4. Superficie factible de riego	21
2.4.5. Calendarización estratégica de riego	21
3. Resultados y discusión	23
3.1. Caracterización del efluente	23
3.2. Caracterización de suelo	23
3.2.1. Zonas de manejo	23
3.3. Calendarización de riego de los cultivos	26
3.3.1. Información meteorológica	26
3.3.2. Etapas de desarrollo de cultivo	27
3.3.3. Coeficientes de cultivo	28
3.3.4. Demanda de riego de los cultivos	30
3.3.5. Superficie factible de riego	31
3.3.6. Calendarización estratégica de riego	33
4. Conclusiones	37
5. Recomendaciones	37
6. Bibliografía	37
Anexo tablas	40
Anexo simulación calendario de riego (cropwat 8.0)	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de parámetros químicos de los efluentes de la planta de Agrelo.	14
Tabla 2: Análisis de parámetros físicos de los efluentes de la planta de Agrelo.	14
Tabla 3: Análisis de parámetros biológicos y orgánicos de los efluentes de la planta de Agrelo.	15
Tabla 4: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de suelos.	15
Tabla 5: Clasificación textural en función del volumen de sedimentación.	17
Tabla 6: Resumen de propiedades físicas del suelo.	18
Tabla 7: Datos de cultivo de entrada en Cropwat 8.0.	22
Tabla 8: Datos de programación de riego de entrada a Cropwat 8.0.	22
Tabla 9: Valores de p ajustado a la ET_c máxima.	23
Tabla 10: Parámetros físicos del suelo en los puntos de muestreo del área de estudio.	24
Tabla 11: Variables climáticas medias mensuales de la estación meteorológica Chacras de Coria, serie 2006-2016.	27
Tabla 12: Evapotranspiración de referencia (ET_o , $mm \cdot dia^{-1}$) según la probabilidad de ocurrencia del 50%.	27
Tabla 13: Etapas de desarrollo del cultivo de Alfalfa en coincidencia con los meses del año.	27
Tabla 14: Etapas del desarrollo del cultivo de Verdeo de invierno en coincidencia con los meses del año.	28
Tabla 15: Valores de K_c para el cultivo de Alfalfa.	28
Tabla 16: Valores de K_c para el cultivo de Verdeo de invierno.	28
Tabla 17: Evapotranspiración máxima mensual del cultivo de Alfalfa y Verdeo de Invierno	30
Tabla 18: Necesidades netas y brutas de riego mensuales para una oferta de $400 m^3 \cdot día^{-1}$ de efluentes.	31
Tabla 19: Superficie factible de riego de Alfalfa y verdeo de invierno, para cada oferta de efluente tratado y para cada mes del año.	32
Tabla 20: Superficie a implantar de Alfalfa y Verdeo de invierno para cada escenario planteado de oferta de efluente.	32
Tabla 21: Superficie de Verdeo de Invierno para consumir $400 m^3 \cdot día^{-1}$ de efluentes.	33
Tabla 22: Intervalos de riego y láminas brutas promedio por cultivo, época del año y zona de manejo,	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Laguna aireada con sopladores.	10
Figura 2: Laguna de sedimentación.	11
Figura 3: Laguna con agregado de cloro.	11
Figura 4: Localización de área de estudio, ACRE Agrelo.	12
Figura 5: Zona de estudio (izquierda), modelo de elevación (centro) y curvas de nivel (derecha). Fuente: Municipalidad de Luján de Cuyo.	13
Figura 6: Puntos de muestreo de suelos en ACRE Agrelo, Luján de Cuyo.	16
Figura 7: Programa Eto calculator.	19
Figura 8: Software Cropwat (8.0).	22
Figura 9: Zonas de manejo, FPI y NCE para alfalfa.	25
Figura 10: Zonas de manejo, FPI y NCE para verdeo de invierno.	25
Figura 11: Zonas de manejo según agua disponible total (ADT).	26
Figura 13: Curva de k_c para alfalfa.	29
Figura 14: Curva de k_c para verdeos de invierno.	29

Figura 15: Programación de riego para cultivo de alfalfa y zona de manejo 1	34
Figura 16: Programación de riego para cultivo de alfalfa y zona de manejo 2.	34
Figura 17: Programación de riego para cultivo de verdeo de invierno y zona de manejo 1.	35
Figura 18: Programación de riego para cultivo de verdeo de invierno y zona de manejo 2.	35

ÍNDICE DE ANEXO DE TABLAS

Tabla 23: Parámetros de suelo obtenidos en laboratorio.	40
Tabla 24: Necesidades netas y brutas de riego mensuales para una oferta de 800 m³ día⁻¹ de efluentes.	41
Tabla 25: Necesidades netas y brutas de riego mensuales para una oferta de 1600 m³ día⁻¹ de efluentes.	42
Tabla 26: Cálculo de hectáreas de Alfalfa y verdeo de invierno para consumir los 800 m³ día⁻¹ de efluentes.	42
Tabla 27: Cálculo de hectáreas de Alfalfa y verdeo de invierno para consumir los 1600 m³ día⁻¹ de efluentes.	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN DE TEMA DE ESTUDIO

El aumento progresivo de la demanda de agua y la contaminación de las mismas, junto con recursos hídricos estáticos o en decrecimiento han provocado un estado de déficit hídrico en varias regiones del mundo. Esto es un tema clave para producción de alimentos y la seguridad alimentaria global, regional y local, en un mundo donde el crecimiento poblacional es exponencial, lo cual plantea un enorme desafío en la gestión de los recursos hídricos.

Una de las formas para afrontar la escasez hídrica es a través del aumento de la oferta, es decir, utilizando recursos convencionales como serían las aguas superficiales o subterráneas, o no convencionales como el agua de mar. Sin embargo, estos últimos no siempre son factibles en términos de sostenibilidad (grandes costos de energía por desalinización) y económicos. No obstante, cabe aclarar, que la alternativa de menor costo es lograr una mayor eficiencia en la utilización del agua entre los usuarios urbanos, industriales y agrícolas, a través de la implementación y la instrucción en el manejo de mejores tecnologías y técnicas de manejo que optimicen el uso del agua, ya sea disminuyendo las pérdidas improductivas del agua, o incrementando el uso eficiente de sistemas de riego localizados (FAO, 2013).

Por otro lado, el reúso del agua es una de las alternativas más utilizadas para afrontar la escasez hídrica, siendo la agricultura el usuario principal de la misma, preservando el recurso para actividades de mayor valor económico y social. Así mismo, es una fuente de agua disponible todo el año que aporta un valor agregado a la fertilidad del suelo y de los cultivos por poseer nutrientes y materia orgánica, y además de ello es la única fuente que va a seguir creciendo ya que va ligada al crecimiento y desarrollo poblacional. Esto genera beneficios para el medio ambiente, al disminuir la extracción de agua dulce, la utilización de fertilizantes químicos y mejorando la estructura del suelo por el aporte de materia orgánica.

El presente proyecto se desarrolla, en el contexto de la reutilización de los efluentes domiciliarios generados mayoritariamente por los habitantes de Agrelo y algunos de Perdriel, tratados en la planta Depuradora de Tratamiento Cloacales en la localidad de Agrelo, Luján de Cuyo, en un "Área de Cultivos Restringidos especiales" (ACRE), donde se pretende: a) diseñar el plan de cultivos y superficies del ACRE, b) seleccionar el método de riego y c) programar la calendarización del mismo para reúso agrícola de los efluentes domiciliarios tratados. La planificación propuesta estará adaptada a tres escenarios futuros de oferta del efluente, los cuales se derivan del incremento en las conexiones domiciliarias: 1° escenario = 400 m³ día⁻¹ (equivalente a 400 conexiones domiciliarias), 2° escenario = 800 m³ día⁻¹ (800 conexiones domiciliarias) y 3° escenario = 1600 m³ día⁻¹ (1600 conexiones domiciliarias).

Para el diseño del plan de cultivos se propone el desarrollo de dos esquemas de cultivos (Cátedra de Agricultura Especial de la Facultad de Ciencias Agrarias U.N.Cuyo, comunicación personal, 2023):

- a- Alfalfa (*Medicago sativa*): pastura perenne, renovándose cada 4 o 5 años, según el estado de la misma. La época de siembra definida es entre finales de marzo a principios de abril (otoño, aunque también se puede hacer en primavera), realizando cortes desde octubre/noviembre hasta marzo/abril. Cultivo capaz de establecer simbiosis con *Sinorhizobium melilot*, bacteria gram negativa (fijadora de nitrógeno), convirtiéndose en un importante componente de la sustentabilidad de los sistemas productivos. Cuando las condiciones de crecimiento son óptimas,

la alfalfa consume aproximadamente 25 kg de N/Tn materia seca (MS), utilizando el N presente en el efluente.

En términos generales, para obtener rendimientos óptimos en alfalfa, el cultivo debe disponer de 1.500 mm (o más) de lámina de riego durante su ciclo de crecimiento anual. Este valor es una aproximación, ya que cambia en función del ambiente, manejo, etc.

Las experiencias en Mendoza (zona irrigada), indican rendimientos promedios anuales de 16 a 18 Tn MS ha⁻¹ año⁻¹ (600 a 800 fardos ha⁻¹ año⁻¹). De acuerdo a las extracciones de kg N MS⁻¹ mencionadas anteriormente, el cultivo podría lograr similares o mayores rendimiento bajo las condiciones del lugar del proyecto y las características del efluente.

- b- Verdeo invernal: consume agua en la época de reposo de la alfalfa. Avena o raigrás anual serían dos opciones viables, incluso la consociación de ambas es una muy buena alternativa. Estas especies solo ocupan el suelo durante un ciclo productivo, de marzo a septiembre, y al siguiente año deberán sembrarse nuevamente. Ambos cultivos presentan un período de siembra amplio, aunque a los fines de esta propuesta se sugiere realizarla en marzo.

Los verdeos de invierno, en general, requieren un mínimo de 350 a 400 mm de agua en el ciclo productivo; no debiendo superar los 800 mm a fin de evitar daños por exceso hídrico.

El forraje producido puede consumirse en pie o para realizar rollos. La producción de cultivos puros de avena ronda los 3.900 kg Ms⁻¹ ha⁻¹ y de raigrás puro los 3.400 kg Ms⁻¹ ha⁻¹. Estimamos que gracias a las condiciones de humedad y nutrientes en que se desarrollaran los cultivos, la consociación podría producir entre 4.500 y 5.000 kg Ms⁻¹ ha⁻¹. Esto se puede traducir en aproximadamente 8-12 rollos ha⁻¹ (de entre 400-470 kg cada uno).

Para la selección del método de riego:

El sistema de riego seleccionado será por melgas sin desagüe al pie, basándonos en la selección de los cultivos y la capacidad que ofrece para gestionar de manera eficiente el recurso hídrico, con una eficiencia racional del 50-60%. Este método permite utilizar una mayor extensión de suelo y aprovechar los nutrientes aportados por el agua del efluente tratado durante el riego.

Para la programación del riego de los cultivos:

Se estimará la lámina a reponer y el intervalo de riego para cada cultivo y ambiente en la zona de estudio, de forma de optimizar el balance hídrico del suelo, aprovechando al máximo el uso del recurso y mejorando el equilibrio entre el contenido de aire y agua en el suelo. De esta manera, se busca permitir que los cultivos puedan evapotranspirar el máximo del residuo líquido disponible para regarlos.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo General

- a) Planificar el uso de los efluentes domiciliarios depurados de la Planta de Tratamiento Agrelo en un área de cultivos restringidos especiales (ACRE).

Objetivos Específicos

- a) Seleccionar los cultivos que permitan reutilizar el agua de los efluentes.
- b) Calcular las necesidades de riego netas y brutas de los cultivos seleccionados.
- c) Calcular la superficie factible de riego para cada escenario de oferta de efluente esperado según los cultivos seleccionados.
- d) Calendarización de riego para la gestión óptima de los efluentes disponibles.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Marco internacional de Uso de Aguas residuales

Del total de agua presente en la tierra, solo el 0,003% es dulce, y a nivel mundial la agricultura utiliza el 70% de esta última, alcanzando valores de hasta un 95% en los países en desarrollo (FAO, 2008). Otros usos del agua, además del consumo directo y la agricultura, es la ganadería, usos domésticos, servicios, industria, recreación, y turismo entre otros.

La agricultura como es de esperar, además de ser el principal usuario de agua dulce, lo es del agua regenerada, siendo alrededor de 20 millones de hectáreas en 50 países, lo que se riega con agua tratada o parcialmente tratada (FAO, 2013).

A nivel mundial, hay más de 3.300 instalaciones de reúso de agua con distintos niveles de tratamiento y para distintos fines: riego agrícola, recarga de aguas subterráneas, etc. (Huertas et al. 2006). La mayoría de las instalaciones se localizan en países desarrollados como Japón (1800) y Estados Unidos (800) mientras que una menor cantidad en países en vías de desarrollo de América Latina (50) y África subsahariana (20) (FAO, 2013).

1.3.1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) surgieron en el año 2015, durante la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible en Nueva York, a la cual asistieron líderes de todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas. En la misma se aprobaron 17 objetivos y 169 metas, con el fin de ampliar los que se habían planteado previamente en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de las Naciones Unidas en el año 2000.

El objetivo N° 6 es el de mayor relevancia para el presente proyecto y busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos para el año 2030, abarcando desde la gestión de los servicios de saneamiento de las casas (indicador 6.2.1), hasta el tratamiento y vertimiento de los flujos de aguas residuales domésticas e industriales (indicador 6.3.1).

El indicador 6.3.1 de seguimiento de porcentajes de flujos de aguas residuales, se divide en flujo de aguas residuales totales (procedentes de industrias, hogares, servicios y agricultura, excluyendo las actividades agrícolas no localizadas y el agua de refrigeración), industriales y domésticas (producidas por servicios y hogares, agrupadas por no presentar contaminantes peligrosos que sí presentan las agrícolas e industriales). Este, proporciona información necesaria para los tomadores de decisiones e interesados en la gestión de los efluentes, y deja en descubierto qué países tienen mayor carencia en su regulación, generando así un incentivo de mejora a los mismos.

Según Alabaster (2021), en el informe Progreso en el tratamiento de las aguas residuales a nivel mundial entre el 50% a 60% de las aguas residuales de los hogares en el año 2020 han sido tratadas de forma apropiada, es decir, que tuvieron tratamiento secundario, superior o que los efluentes vertidos cumplieron con los estándares reglamentados a nivel local o nacional. Este dato evidencia que el tratamiento de aguas residuales sigue representando un reto para mejorar a nivel global.

1.3.2. Marco Nacional de Uso de Aguas residuales

Según los datos revelados por el Informe de coyuntura sobre el Acceso e Igualdad al Agua y Saneamiento (Ministerio de Obras Públicas Argentina, 2021), el 20,1% de la población argentina no tenía acceso a agua potable o agua apta para consumo humano en el 2019. Existe una brecha muy amplia entre las zonas urbanas sin barrios populares donde solo el 11,8% no tiene acceso a agua potable o agua apta para consumo humano, con los barrios populares donde esto se incrementa al 88,4%. A su vez, como se podría esperar, en las zonas rurales se obtuvieron valores mayores de déficit de acceso de agua potable (44,7%) respecto a las zonas urbanas, debido a la falta de infraestructura y conducción de los servicios públicos.

Otros datos significativos aportados por el Ministerio de Obras Públicas, en materia de tratamiento de efluentes, expuso la ineficiencia de las plantas depuradoras existentes, en las cuales del total de aguas recolectadas sólo el 27,6% indica un nivel de tratamiento adecuado.

En Argentina se calcula que hay alrededor de 1.400 organizaciones de diversa índole (sociedades anónimas de participación estatal mayoritaria, sociedades del Estado, cooperativas de servicios, y dependencias municipales o comunales) que prestan servicios de agua y de saneamiento. Algunas de las tecnologías más utilizadas por las mismas son las lagunas de estabilización y los digestores de barro, a diferencia de los lechos de percolación y las zanjas de oxidación, que están presente en menor proporción.

Otro factor a considerar respecto a la distribución de los recursos hídricos a nivel nacional es su heterogeneidad en la cual el 85% de recurso se concentra en la Cuenca del Plata, drenada por el Río de la plata y sus afluentes, mientras que el porcentaje restante da lugar a las zonas áridas o semiáridas del país.

1.3.2.1. Legislación Nacional

A partir de la reforma constitucional del año 1994, junto con el reconocimiento de los Derechos de la “tercera generación”, es decir, los de incidencia colectiva y el surgimiento del Estado ecológico de derecho, nace el derecho a un constitucionalismo ambiental. Lo que se trató de promover bajo esta reforma, fue la generación de conciencia ambiental y la necesidad de equilibrar la producción y el uso razonable de los recursos naturales.

Dentro de las innovaciones de la reforma, en el tercer párrafo del artículo 41, se encuentran las leyes de presupuestos mínimos en donde se especifica que le “Corresponde a la Nación dictar los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales”, entendiéndose a presupuesto mínimo como el umbral mínimo que las provincias deben cumplir en materia legal.

Esta reforma, junto con la introducción del artículo 124 que expresa que le “Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio”, les dio a las provincias más poder sobre la gestión de sus recursos hídricos.

A nivel Nacional no hay una reglamentación general sobre el uso, regulación y control sobre los recursos hídricos, sino que cada provincia tiene su propia organización. En el año 2002 se sancionó la ley 25.688 de preservación, aprovechamiento y uso racional de las aguas (ley de presupuestos mínimos), en las que se consideró a la cuenca como unidad ambiental de gestión indivisible (Art.3), y creando a los comités de cuencas hídricas como autoridad interprovincial competente encargada de la gestión de las mismas (Art. 4).

1.3.3. Marco Provincial de Uso de Aguas residuales

La provincia de Mendoza se encuentra en el centro oeste de la República Argentina en la conocida “diagonal árida sudamericana”. Limita al norte con la provincia de San Juan, al este con la provincia de San Luis, al sur con las provincias de La Pampa y Neuquén, y al oeste con Chile. Sus coordenadas están entre los paralelos 32° y 37° 33' de latitud sur, y los meridianos 66° 30' y 70° 36' longitud oeste.

Al localizarse en el centro del país, el clima es continental semiárido, con veranos secos y una temperatura media de 24 °C e inviernos húmedos con una temperatura media de 6 °C en la capital (AySAM, 2017). Las precipitaciones son escasas, del orden de 200 a 250 mm anuales. Bajo este contexto de régimen pluvial limitado, el agua de fusión de las masas de hielo de la Cordillera de los Andes actúa como principal fuente de riego. Luego de más de dos décadas de escurrimientos hidrológicos inferiores al promedio histórico, el Departamento General de Irrigación (DGI), ente que administra el recurso hídrico en Mendoza, declaró que se encuentra en una situación de “emergencia hídrica permanente” (Grosso, 2015).

La distribución del recurso hídrico en el territorio provincial, ha dado como resultado el desarrollo de tres oasis de riego principales (norte, centro y sur), en donde se concentra el 98,5% de las actividades agroubano-industriales (Therburg et al., 2004, citado en Grosso, 2008). Los principales ríos que permitieron el desarrollo de estos oasis son el Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Malargüe.

En el oasis norte, el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) concentra la mayor aglomeración poblacional (alrededor del 60% de la población de la Provincia) y está integrada por los departamentos de Las Heras, Capital, Guaymallén, Godoy Cruz, Maipú, Luján de Cuyo y Lavalle, en donde la constante transición de suelo agrícola a suelo urbano debe ser aprovechada a través del reuso de los efluentes domiciliarios para la producción agraria.

1.3.3.1. Legislación Provincial

La Ley General de Aguas de Mendoza, primera ley sobre recursos hídricos en Argentina, fue sancionada en el año 1884 y a pesar de ser modificada en reiteradas ocasiones, aún sigue vigente en materia de gestión del agua, distribución y canales, entre otros.

Esta ley establece al DGI como la máxima autoridad del agua en la provincia con funciones de gestión, reglamentación y control de la misma. El mismo es un ente público autárquico, autónomo y descentralizado, es decir, establece su propio presupuesto, y tiene independencia política. Está formado por la Superintendencia General de irrigación, el Honorable Tribunal Administrativo y el Honorable Consejo de Apelaciones (Pinto, 2006, como se citó en INA, 2016). A su vez, el DGI es el encargado de controlar a los inspectores de cauce que gestionan la red hídrica secundaria.

Las resoluciones establecidas por el DGI relevantes para el presente informe son:

- Resolución 778/96: Reglamento general para el control de contaminación hídrica. El tema principal en la que se centra esta resolución es la regulación de la calidad de las aguas de dominio público provincial, más específicamente, impedir la contaminación y degradación de aguas superficiales como subterráneas; recuperar los ecosistemas acuáticos como así también fomentar su preservación; y el control de vertidos al cauce público, a través de la inscripción en el Registro Único de Establecimientos (RUE). En el anexo I se detallan los parámetros biológicos, químicos y físicos, máximos permitidos y tolerados para el vertido al dominio público; mientras que en el anexo II se categoriza a las organizaciones según la toxicidad de sus efluentes industriales (DGI, 1996).
- Resolución 400/03: Reglamento general de Área de Cultivos Restringidos Especiales. Dentro de esta se establecen las condiciones de reúso en agricultura de aguas recuperadas mediante depuración de efluentes tratados, se delimita su área de utilización, los cultivos autorizados para ser implantados, obliga a los regantes a realizar cultivos de verano e invierno con el fin de captar todo el efluente generado, como así también de consumir toda el agua dentro de su propiedad, entre otros. En los anexos I y II, se especifican los parámetros a determinar y las frecuencias de las mediciones (DGI, 2003).
- Resolución 51/20 y 52/20: Revisión integral de la resolución 778/96. Esta modificación incorpora nuevos términos como "Autorización para reúso y permiso de uso de agua para reúso" en los artículos 23 ter y 23 quart, además de introducir el concepto de "Agente contaminante" mediante la inclusión del artículo 26 bis. También se agrega la noción de "proyecto de reúso y/o reutilización", con el objetivo de calcular la extensión de cultivos agrícolas que se riegan con efluentes tratados, y alcanzar un vuelco cero de los mismos. Asimismo, la resolución aprueba el Índice de peligrosidad industrial (IP) en el anexo VII y ajusta el parámetro de conductividad eléctrica específica en el anexo I, adaptándolo a las particularidades de cada cuenca y a la peligrosidad asociada a cada establecimiento (DGI, 2020).

1.3.3.2. Definición ACRE

De acuerdo a la resolución 400, "Reglamento General de ACRES", abordada en párrafos anteriores, un área de cultivos restringidos especiales es aquella zona agrícola en la que se disponen los efluentes tratados en el establecimiento depurador. Los mismos no pueden ser derramados o conducidos fuera de los límites establecidos (Luraschi y Rauek, 2017).

Según el nivel de tratamiento alcanzado, se pueden clasificar a los cultivos permitidos para el ACRE en categoría A, aquellos que han sufrido un tratamiento primario, y categoría B, aquellos que han sufrido un tratamiento secundario. En la primera se encuentran los cultivos que no se consumen (forestales de hoja perenne), y los que si se consumen por los animales (forrajes secados al sol), y los humanos (aquellos cultivos que pasan por procesos de desinfección); mientras que en la segunda se encuentran todos los cultivos aptos para consumo humano y animal, pero con distintos tipos de restricciones, como serían aquellos cuya cáscara no se come o que las partes que van a ser consumidas no deben estar en contacto directo con el efluente tratado. En ambas categorías se agregan medidas complementarias, de seguridad laboral, como el uso de ropa de trabajo adecuada, el tipo de riego, y otras restricciones en las prácticas de campo (AySAM, 2016).

El último aspecto importante a destacar, y abordado en la presente resolución, es el tipo de riego que se permite utilizar en estas áreas, dentro de los cuales se encuentran: riego superficial, que incluye por

melgas sin pendiente y por surcos sin desagüe al pie; riego subsuperficial; y riego localizado (Luraschi y Rauek, 2017).

1.3.3.3. Descripción Plantas Depuradoras de Mendoza

El oasis norte de la Provincia tiene la mayor superficie irrigada con efluentes tratados. En su mayoría, provienen de los establecimientos depuradores "Campo espejo" y "Paramillo", ubicados en los departamentos de Las Heras y Lavalle, encargados de regar una superficie agrícola total de 12.000 ha aproximadamente (Grosso, 2008).

La planta Campo Espejo recibe los efluentes del este de Godoy Cruz, Capital y Las Heras, con un caudal de 1.500 l s^{-1} ($128.000 \text{ mm día}^{-1}$), tratados en 11 series de lagunas de estabilización primarias, secundarias y terciarias, y tiene como disposición final un Acre Externo operado por el DGI. La planta Paramillo recibe los efluentes del oeste de Godoy Cruz, Guaymallén, Luján de Cuyo y Maipú, con un caudal de 1.753 l s^{-1} ($151.475 \text{ mm día}^{-1}$), tratados en 4 series de lagunas de estabilización primarias, secundarias y terciarias. Los efluentes tratados en ambas plantas pertenecen a un poco más del 75% del total que son tratados en la provincia (Luraschi y Rauek, 2017).

Si bien, las plantas previamente descritas son las más renombradas por sus grandes volúmenes tratados, existen otros establecimientos depuradores (AySAM, 2016):

- San Martín: Posee 5 series de Lagunas de Estabilización facultativas, ocupando un área total de 46 has, que dan lugar a un tratamiento secundario de los efluentes. Debido a que su capacidad es de 125 l s^{-1} , pero recibe 168 l s^{-1} se está previendo un plan de ampliación del establecimiento. La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Externos.
- Palmira: Tiene 1 serie de Lagunas de Estabilización con un área total de 10,3 has que dan lugar a un tratamiento secundario de los efluentes. Recibe 37 l s^{-1} , sobrepasando más del 45% de la capacidad prevista en el diseño (25 l s^{-1}). La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Externos.
- Rivadavia: Posee 3 series de Lagunas de Estabilización facultativas, ocupando un área total de 10 has, que dan lugar a un tratamiento secundario. Recibe 62 l s^{-1} , sobrepasando en un 12% la capacidad prevista en el diseño ($55,50 \text{ l s}^{-1}$). La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Internos.
- Junín: Realiza un tratamiento secundario con lodos activados. Recibe $13,30 \text{ l s}^{-1}$, sobrepasando en un 27% la capacidad prevista en el diseño ($10,50 \text{ l s}^{-1}$). La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Internos.
- La Paz: Tiene 2 series de Lagunas de Estabilización facultativas, ocupando un área total de 24 has, que dan lugar a un tratamiento secundario. Recibe $13,30 \text{ l s}^{-1}$, siendo la capacidad prevista en el diseño de $15,4 \text{ l s}^{-1}$. La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Externos.
- Tunuyán: Posee 2 series de Lagunas de Estabilización facultativas, ocupando un área total de 7,5 has, que dan lugar a un tratamiento secundario. Recibe 70 l s^{-1} , sobrepasando en un 250% la capacidad prevista en el diseño (20 l s^{-1}). La disposición final del líquido resultante es en una parte su infiltración en el terreno y la otra su vuelco al río Tunuyán.

- San Carlos: Tiene 1 serie de Lagunas de Estabilización facultativas con un área total de 0.96 ha, que dan lugar a un tratamiento secundario. Recibe 23 l s^{-1} , sobrepasando en un 230% la capacidad prevista en el diseño (10 l s^{-1}). La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Internos.
- San Rafael: El departamento posee dos establecimientos, el más antiguo, conocido como “De los Dos álamos” está compuesto por sedimentadores y lagunas, que dan lugar a un tratamiento primario, y su disposición final es hacia el Acre Externo Remonta y Veterinaria Ejército argentino. El establecimiento más nuevo, “Cuadro Nacional”, posee 1 serie de lagunas de Estabilización facultativa, que como en el primer caso da lugar a un tratamiento primario, y con la misma disposición final de los líquidos tratados,
- General Alvear: Tiene 2 series de Lagunas de Estabilización facultativas, ocupando un área total de 7.2 has, que dan lugar a un tratamiento primario. Recibe 63 l s^{-1} , sobrepasando en casi un 40% la capacidad prevista en el diseño (45 l s^{-1}). La disposición final del líquido resultante es hacia Acres Externos.
- Uspallata: Posee 2 series de Lagunas Batch, ocupando un área total de 2 has, que dan lugar a un tratamiento primario. Recibe 34 l s^{-1} , sobrepasando en un 113% la capacidad prevista en el diseño (16 l s^{-1}).

Los servicios públicos de agua potable y desagües cloacales son proporcionados en gran medida por “Agua y Saneamiento Mendoza” (AySAM), y en menor medida por operadores municipales (de los municipios de Luján de Cuyo, Maipú y Tupungato), y operadores de gestión comunitaria (Cooperativas) y comercial (Consortios) (AySAM, 2016).

1.3.3.4. Problemas, Desafíos y Oportunidades

Según datos aportados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2023), se registró un aumento poblacional del 14%, con el consiguiente aumento del consumo de agua, durante el 2010 a 2022 en Mendoza. Ante este escenario se pone en evidencia la creciente tensión entre la oferta y la demanda de los distintos usuarios (agricultura, industria y zonas urbanas) del recurso hídrico.

La expansión de la ciudad y el aumento de la población va emparejada con el aumento de efluentes cloacales, y con ello de sustancias contaminantes para el medio ambiente de naturaleza física (temperatura), química (metales, hidrocarburos) o biológica (bacterias coliformes) (Ronco y Carriquiriborde, 2019). Esta problemática en gran parte se trata de subsanar a través de lo que se conoce como: a) tratamiento de efluentes, una serie de procesos físicos, químicos, biológicos que tiene como finalidad degradar la materia orgánica presente, disminuir los sólidos no orgánicos y eliminar todo microorganismo causante de enfermedades (Oyarzabal, 2017) y b) riego agrícola en Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE). Ello permite asegurar una mejor disponibilidad y productividad de agua para la agricultura, debido a que los efluentes cloacales tratados disponen de una buena carga nutricional.

Si bien Mendoza es una provincia pionera a nivel nacional en el tratamiento de efluentes, la capacidad actual de las plantas no satisface el creciente volumen de entrada. Es esencial expandir o crear nuevas instalaciones a corto plazo para gestionar eficazmente el aumento constante de efluentes urbanos e industriales.

1.3.3.4.1. Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales

Según el informe de la FAO (2013), las aguas residuales municipales son tratadas generalmente a través de estos sistemas de tratamiento:

- Preliminar: hace referencia a los sistemas de desbaste, es decir, sistemas de eliminación de los materiales sólidos grandes (pañales, pedazos de madera, botellas de plástico, etc.) que se encuentran frecuentemente en las aguas residuales municipales. Dentro de estos se encuentran principalmente las rejillas, los canastos y los tamices.
- Primario: tratamiento físico de sedimentación de materiales sólidos. Generalmente se usan espesadores de lodos de fondo cónico o desarenadores, ambos tienen el mismo objetivo, que es que las partículas sólidas migren al fondo, este material se elimina como fango que tiene un tratamiento aparte, mientras el agua clarificada queda en la superficie.
- Secundario: tratamiento biológico de descomposición de compuestos orgánicos por actividad de microorganismos a través de procesos de oxidación y síntesis biológica. Las aguas residuales, posterior al tratamiento primario, pasan a un tanque de aireación (en presencia de O₂) en el que crecen los microorganismos que consumen la materia orgánica presente. El aire puede ser suministrado de forma mecánica, como es en el caso de los tanques de lodos activados o las lagunas aireadas; o de fuentes naturales como en el caso de las lagunas de estabilización, donde el oxígeno es por el contacto de la superficie líquida con la atmosférica. Luego de la aireación, se pasa la mezcla a un sedimentador llamado secundario, en el que se vuelve a obtener sedimento eliminado como fango, y el agua clarificada.
- Terciario: tratamiento químico de eliminación de contaminantes específicos como serían el nitrógeno y el fósforo. Dentro de estos se encuentran normalmente la desinfección por cloro o ultravioleta, y la reducción de sales a través de la ósmosis inversa.

Además, los fangos y materiales sólidos resultantes de los tratamientos primarios y secundarios pasan por un digestor anaeróbico, en el cual los lodos digeridos o estabilizados obtenidos se utilizan como fertilizantes o abonos del suelo, como rellenos sanitarios o se incineran.

1.3.3.5. Tendencia del Crecimiento Poblacional y Detalles de la Creación del ACRE Agrelo

Agrelo es una localidad y distrito ubicado en el Departamento de Luján de Cuyo, en el que predomina la actividad vitivinícola con producción de vinos de alta gama. Este departamento ha sido uno de los más elegidos para vivir en los últimos años por los habitantes de la provincia de Mendoza. Los datos de los últimos dos censos realizados en Argentina (2010-2022) han registrado un aumento de 21.612 viviendas particulares (Indec, 2023). El crecimiento poblacional ha ido de la mano de la prestación de servicios y la generación de infraestructura como así también de la generación de residuos y efluentes por parte de los habitantes de la zona.

Bajo este escenario, se pone en marcha en el año 2020 la Planta Depuradora de Tratamientos Cloacales situada en la Ruta 40, a cargo de la Municipalidad de Luján de Cuyo, con el fin de tratar los efluentes generados por los habitantes de los barrios de la zona de Agrelo (Valle Agrelo 1, Valle Agrelo 2, Agrelo Viejos y Hogar Obrero) y algunos de Perdriel (Municipalidad de Luján de Cuyo, 2022).

Inicialmente se colocaron colectores cloacales para los efluentes domiciliarios, aspirando a dejar en desuso alrededor de 1.500 pozos sépticos. Por un lado, se busca obtener beneficios para el medio ambiente a través de la reducción de la contaminación del agua en los acuíferos subterráneos. En estos pozos los efluentes infiltran llegando a contaminar las aguas subterráneas. También se pretende obtener beneficios para la sociedad al eliminar los costos del camión atmosférico que desagota los pozos, y las posibles enfermedades a las que están expuestos los habitantes de la zona (MendoVoz, 2020). Los efluentes son recolectados por una estación de bombeo en ruta 15 y trasladados a una serie de cinco piletas, cuatro de ellas están destinadas a los procesos de tratamiento específicos, mientras que la quinta funciona como un reservorio. El tratamiento inicia en una laguna aireada facultativa (Figura 1), en la que se utiliza *Escherichia coli* como microorganismo degradador de la materia orgánica. Luego pasa a la laguna de estabilización (Figura 2) donde se eliminan los huevos de helmintos por sedimentación. Finaliza con una cloración (Figura 3) para luego derivar el agua al ACRE, por lo que al efluente se le efectúa hasta un tratamiento terciario-químico.



Figura 1: Laguna aireada con sopladores.



Figura 2: Laguna de sedimentación.



Figura 3: Laguna con agregado de cloro.

1.3.3.6. Desafíos para el Diseño y el Manejo del ACRE Agrelo

El ACRE planificado se encuentra en los alrededores de la planta de tratamiento y la superficie disponible es de 85 ha aproximadamente (descontando callejones, acequias, represa, zonas de contingencias). Actualmente, por falta de presupuesto para las conexiones, hay alrededor de 200 familias conectadas lo que corresponde a $6.500 \text{ m}^3 \text{ mes}^{-1}$ que se están usando para regar las 10 ha de un productor vecino al ACRE que cultiva alfalfa. Sin embargo, la municipalidad de Luján de Cuyo ha planteado que podrían llegar a generarse 1.600 conexiones domiciliarias a fin de proyecto con una oferta de agua por conexión al sistema de $1 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

En la Figura 4 se muestra la geolocalización del ACRE Agrelo, ubicado en el departamento de Luján de Cuyo. Este terreno tiene una extensión total de aproximadamente 94 hectáreas, distribuidas en 29 hectáreas en la zona norte y 65 hectáreas en la zona sur. El ACRE está rodeado por importantes vías de comunicación, como serían la ruta nacional 40 al este y la ruta provincial 15 al oeste.

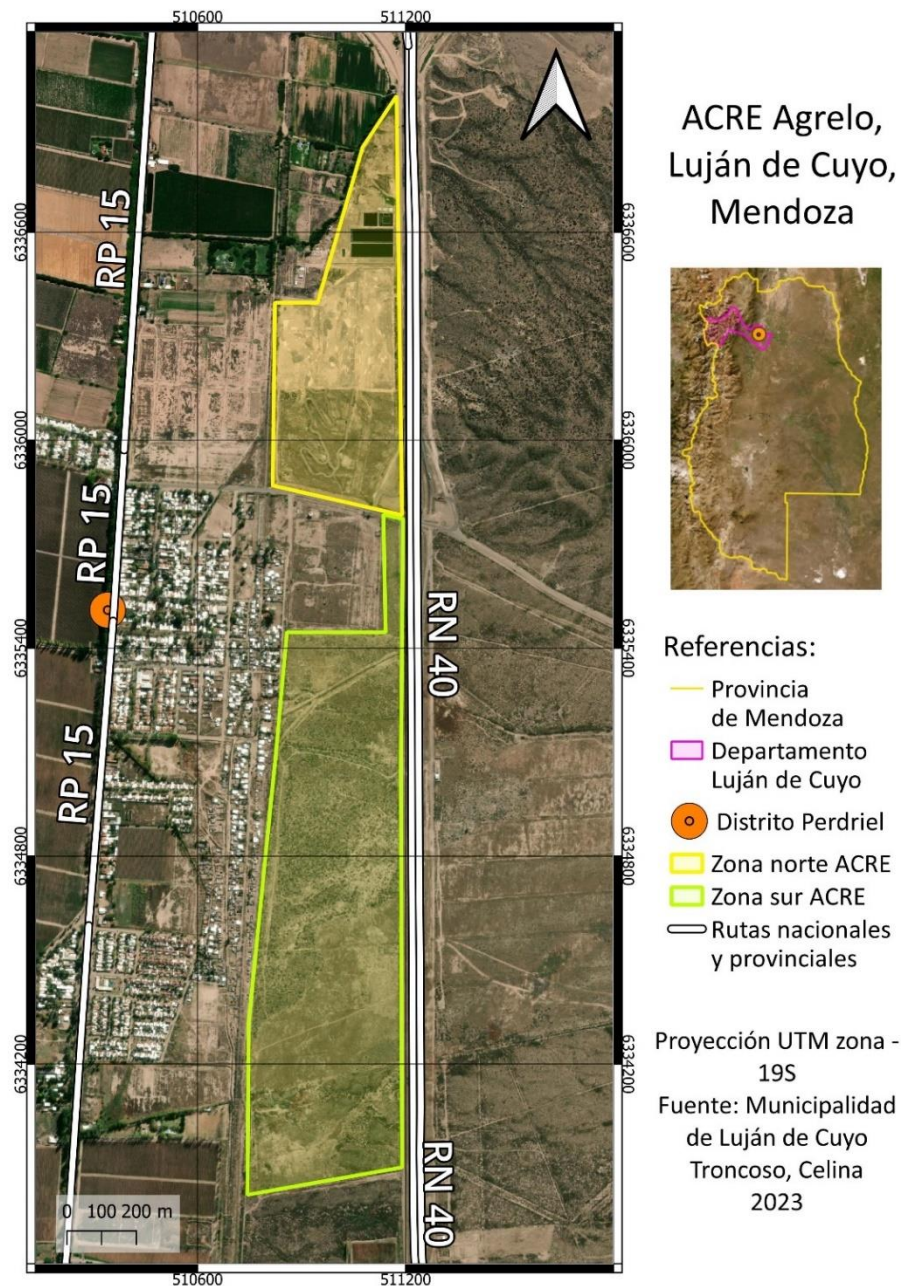


Figura 4: Localización de área de estudio, ACRE Agrelo.

2.1.1. Cartografía de base y curvas de nivel

Para la obtención de la cartografía de base y curvas de nivel (equidistantes a 20 cm), se realizó un vuelo aéreo-fotogramétrico con dron ejecutado por la empresa de servicios topográficos unipersonal "Irusta", dando como resultado un mosaico RGB y un modelo digital de terreno de la zona de estudio con una resolución de 15 cm (Figura 5).

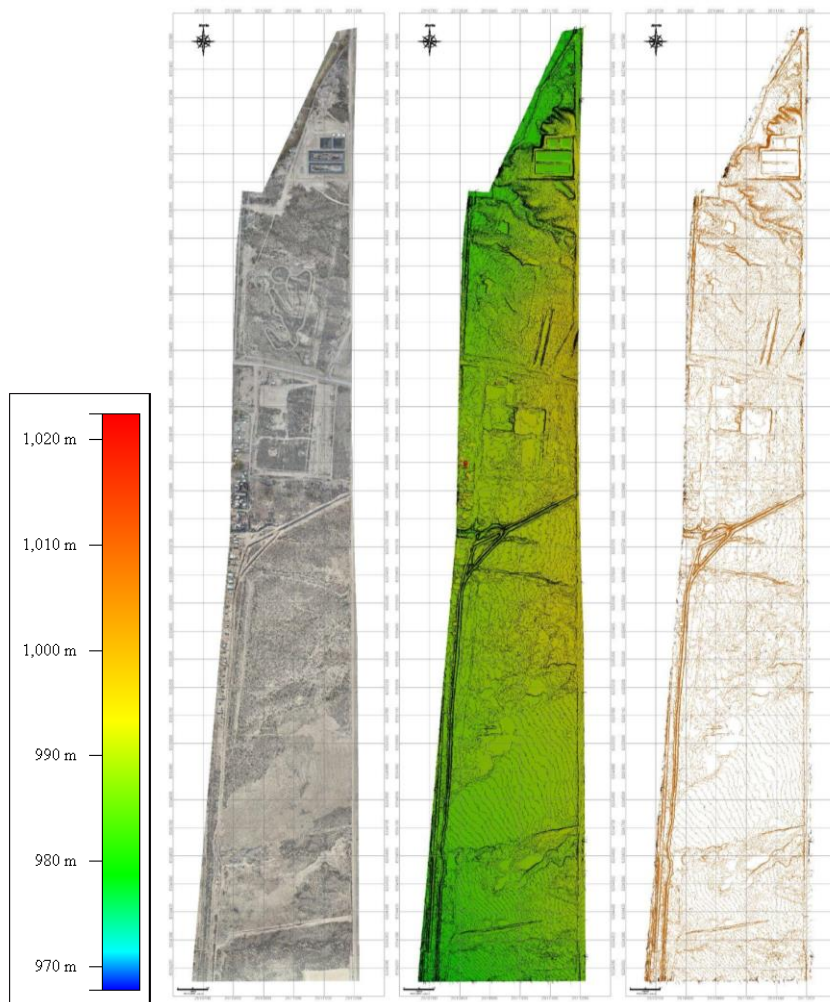


Figura 5: Zona de estudio (izquierda), modelo de elevación (centro) y curvas de nivel (derecha). Fuente: Municipalidad de Luján de Cuyo.

La fotografía aérea obtenida del vuelo se utilizó como fondo de carta en el sistema de información geográfica QGIS para obtener la cartografía base del proyecto (delimitación geográfica del área de estudio) en formato *.shp.

Las curvas de nivel y el modelo digital de elevación obtenido serán de utilidad en una etapa futura para diseñar y planificar la operación del método de riego.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

La planta de tratamiento Agrelo es responsable de recibir los efluentes generados por los habitantes de los barrios ubicados en la zona de Agrelo tales como Valle Agrelo 1, Valle Agrelo 2, Agrelo Viejos y Hogar

Obrero, así como algunos sectores de Perdriel (Municipalidad de Luján de Cuyo, 2022). Se anticipa un aumento en la cantidad de efluentes conforme la zona circundante a la planta continúe su proceso de urbanización.

El presente proyecto considera tres escenarios prospectivos en cuanto a la oferta de efluentes: el primer escenario proyecta una oferta de $400 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, el segundo escenario contempla $800 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ y el tercer escenario prevé $1600 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$.

La municipalidad de Lujan realiza periódicamente controles sobre la calidad del efluente vertido. Los principales parámetros medidos se encuentran detallados en la Tablas 1, 2 y 3. Estos valores representan la información más reciente suministrada por el responsable de la planta. El muestreo fue realizado el 01/08/2023 y el análisis estuvo a cargo del Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo (AAS).

Tabla 1: Análisis de parámetros químicos de los efluentes de la planta de Agrelo.

Punto de extracción		Salida PTE
Matriz		Efluente
Parámetro	Unidades	Concentración
Cloruros (Cl^-)	mg L^{-1}	64
Sulfuros totales	mg L^{-1}	<0.1
Nitritos (NO_2^-)	mg L^{-1}	9.40
Nitratos (NO_3^-)	mg L^{-1}	17.17
Fosforo total (PO_4^{-3})	mg L^{-1}	6.64
Fosfato reactivo (PO_4^{-3})	mg L^{-1}	5.71
Sodio (Na)	mg L^{-1}	81
Potasio (K)	mg L^{-1}	11
RAS	Calculo	1.84
Arsénico (As)	mg L^{-1}	<0.005
Cadmio (Cd)	mg L^{-1}	<0.005
Cromo (Cr)	mg L^{-1}	<0.05
Mercurio (Hg)	mg L^{-1}	<0.005
Plomo (Pb)	mg L^{-1}	<0,03
Sustancias solubles en éter etílico	mg L^{-1}	3,2

Tabla 2: Análisis de parámetros físicos de los efluentes de la planta de Agrelo.

Punto de extracción		Salida PTE
Matriz		Efluente
Parámetro	Unidades	Concentración
Solidos sedimentables a 10 min	ml L^{-1}	<0.1
Solidos sedimentables a 2 hs	ml L^{-1}	<0.1
Solidos suspendidos totales a $103\text{-}105^\circ \text{ C}$	ml L^{-1}	14.0

Tabla 3: Análisis de parámetros biológicos y orgánicos de los efluentes de la planta de Agrelo.

Punto de extracción		Salida PTE	
Matriz		Efluente	
Determinaciones	Unidades	Resultados	Límite de detección
Bacterias Aerobias Mesófilas	[u.f.c ml ⁻¹]	>500	1
Coliformes Totales	[NMP 100ml ⁻¹]	9.2	1.1
Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>)	[NMP 100ml ⁻¹]	5.1	1.1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	[NMP 100ml ⁻¹]	<1,1	1,1
Huevos de Helmintos	[Huevos L ⁻¹]	No detección	1
DQO (filtrada)	mgO ₂ L ⁻¹	16	
DBO	mg L ⁻¹	9	

2.3. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

2.3.1. Muestreo de suelo

Se realizó un muestreo de suelos en 14 puntos estratégicos del futuro ACRE con una densidad de muestreo de una muestra cada 5 ha (Tabla 4, Figura 6).

Tabla 4: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de suelos.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	33°6'22.41"S	68°52'49.42"O
2	33°6'26.66"S	68°52'51.61"O
3	33°6'40.95"S	68°53'0.73"O
4	33°6'46.95"S	68°52'49.79"O
5	33°6'54.66"S	68°52'59.47"O
6	33°7'5.86"S	68°52'49.79"O
7	33°7'11.73"S	68°52'57.30"O
8	33°7'16.95"S	68°52'50.91"O
9	33°7'24.77"S	68°52'59.06"O
10	33°7'30.36"S	68°52'51.80"O
11	33°7'38.79"S	68°53'1.48"O
12	33°7'43.62"S	68°52'50.93"O
13	33°7'52.59"S	68°53'2.89"O
14	33°7'59.93"S	68°52'52.04"O

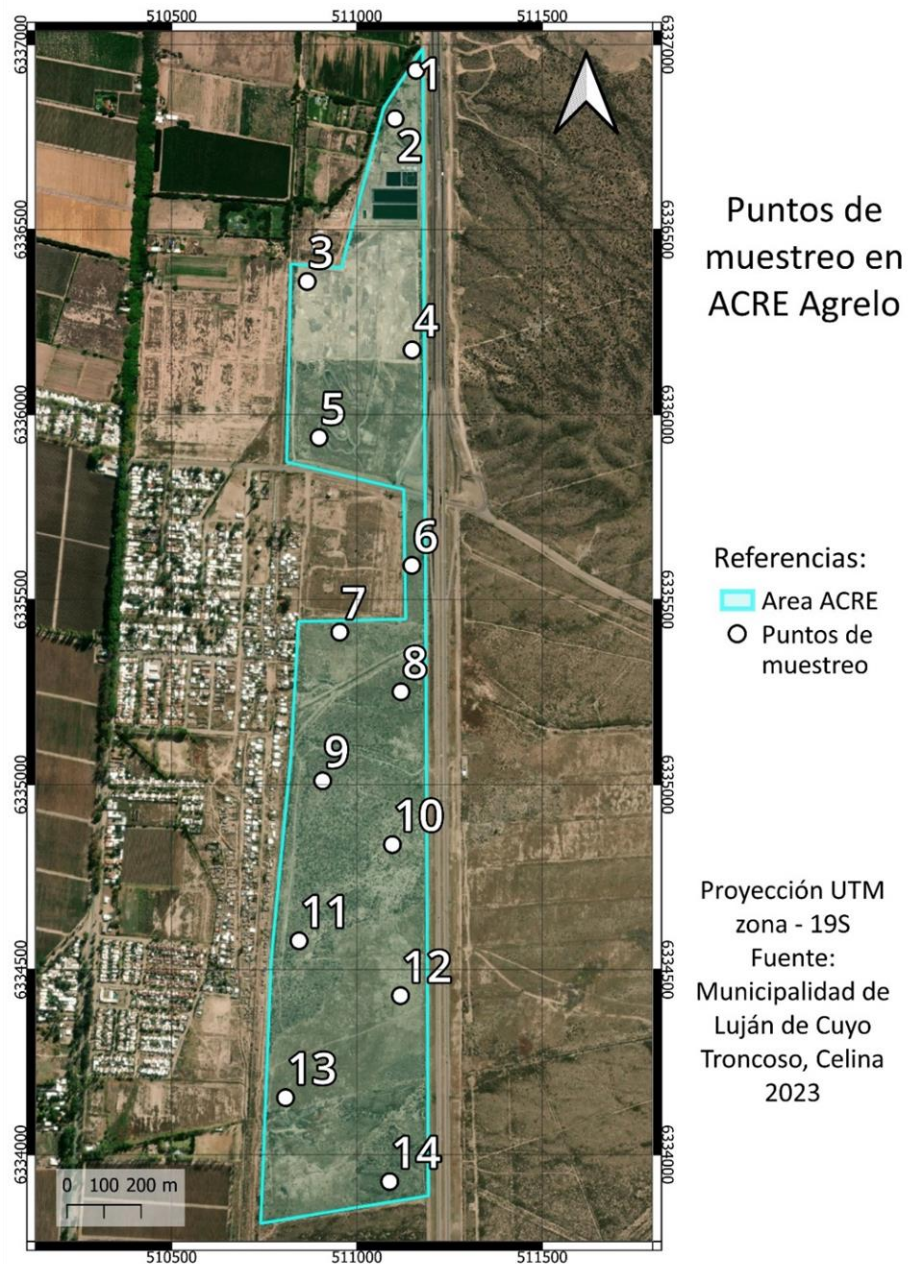


Figura 6: Puntos de muestreo de suelos en ACRE Agrelo, Luján de Cuyo.

2.3.2. Parámetros de suelo

En cada punto de muestreo de suelos se extrajeron muestras a dos profundidades, la primera de 0 a 50 cm, y la segunda de 50 a 100 cm. Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de suelos “Agroas” (Análisis de Suelo Aguas y Microbiológicos) donde se determinaron los siguientes parámetros: Volumen de Sedimentación (VS), Conductividad Eléctrica (CE), relación adsorción sodio (RAS) y pH (ver Tabla 27 de Anexo).

2.3.3. Zonas de manejo

Para la espacialización de las variables principales del suelo en la zona de estudio, se utilizaron las técnicas de interpolación Kriging. Para la determinación de hidro-zonas o ambientes de manejo se utilizó el plugin Smart-Map (Pereira et al., 2022) de Quantum Gis (QGIS) que utiliza las metodologías mencionadas por Fridgen et al. (2004). Permite definir hidro-zonas o ambientes de manejo según los índices NCE (entropía de clasificación normalizada) y FPI (Índice de rendimiento de borrosidad). Para definir las zonas de manejo como variable principal se utilizaron los valores de agua disponible total de los suelos (ADT) de los 14 puntos muestreados.

El agua disponible total (ADT) es la cantidad de agua que un suelo puede almacenar en la zona radical del cultivo de interés. Depende del tipo de suelo, la profundidad de la raíz, el porcentaje de suelo mojado por el método de riego, y el porcentaje de pedregosidad. El cálculo de la ADT se realizó según la metodología propuesta por el manual FAO N° 56 (Allen et al., 1998) y su actualización recomendada por la Cátedra de Hidrología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.Cuyo:

$$ADT = \frac{(Wc - Wm)}{100} \times PEA \times D \times PSM \times (1 - Pi)$$

Donde:

ADT	Agua disponible total (mm)
Wc	Capacidad de campo (gr agua % gr de suelo seco)
Wm	Capacidad de marchitez permanente (gr agua % gr de suelo seco)
PEA	Peso específico aparente (gr cm ⁻³)
D	Profundidad efectiva de raíces (mm)
PSM	Porcentaje de suelo mojado (%)
Pi	Porcentaje de piedra en el perfil del suelo (%)

Para caracterizar el ADT en la zona de estudio, inicialmente se utilizaron los valores promedio de volumen de sedimentación de ambas profundidades (0 a 50 cm y 50 a 100 cm) de los 14 puntos de muestreo, y se clasificó según su textura utilizando la clasificación propuesta por la cátedra de edafología (Tabla 5).

Tabla 5: Clasificación textural en función del volumen de sedimentación.

Grupo Textural	Volumen de sedimentación (cm ³ %g)
Arenoso	<80
Franco arenoso	80-93
Franco	94-104
Franco limoso	105-115
Franco arcilloso	116-135
Franco arcillo limoso	136-139
Arcilloso	>140

Fuente: Cátedra de Edafología FCA U.N.Cuyo.

A través de las texturas de cada punto de muestreo de suelo, según Chambouleyron (2005), se obtuvieron las principales capacidades hídricas de los suelos que incluyen: Wc (capacidad de campo), Wm (capacidad de marchitez) y PEA (peso específico aparente de los suelos).

Tabla 6: Resumen de propiedades físicas del suelo.

Textura del suelo	Total, espacio poroso	PEA (gr/cm ³)	Wc (%)	Wm (%)	Humedad total disponible		
					Peso seco	Volumen	d (cm/m)
Arenoso	38	1.65	9	4	5	8	8
	(32-42)	(1.55-1.8)	(6-12)	(2-6)	(4-6)	(6-10)	(6-10)
Franco arenoso	43	1.5	14	6	8	12	12
	(40-47)	(1.4-1.6)	(10-18)	(4-8)	(6-10)	(9-15)	(9-15)
Franco	47	1.4	22	10	12	17	17
	(43-49)	(1.35-1.5)	(18-26)	(8-12)	(10-14)	(14-20)	(14-20)
Franco arcilloso	49	1.35	27	13	14	19	19
	(47-51)	(1.3-1.4)	(23-31)	(11-15)	(12-16)	(16-22)	(16-22)
Arcillo limoso	51	1.3	31	15	16	21	21
	(49-53)	(1.25-1.35)	(27-35)	(13-17)	(14-18)	(18-23)	(18-23)
Arcilloso	53	1.25	35	17	18	23	23
	(51-55)	(1.2-1.3)	(31-39)	(15-19)	(16-20)	(20-25)	(20-25)

Fuente: Chambouleyron (2005).

Los valores de profundidad efectiva de raíces de cada cultivo se obtuvieron del manual FAO N° 56 (Allen et al., 1998), siendo de 1.5 m para Alfalfa y 1 m para verdeo de invierno. El porcentaje de pedregosidad para cada zona de manejo fue obtenido del muestreo a campo de los 14 puntos, dando como resultado para la zona de manejo 1 y 2 respectivamente un promedio de 85 y 40%. Por último, se obtuvo porcentaje de suelos mojados, que corresponde al 100 % por ser riego superficial en melgas sin desagüe el pie.

2.4. CALENDARIZACIÓN DEL RIEGO DE LOS CULTIVOS

2.4.1. Información meteorológica

Se obtuvieron las variables climáticas promedio en la estación meteorológica Chacras de Coria, N°87454 ubicada a una altitud de 921 msnm, latitud de 32°59' S y longitud de 68°50' O. La estación meteorológica previamente nombrada integra la red de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos utilizados corresponden a una serie histórica de los años 1956 al 2016, proporcionados por la cátedra meteorológica agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.

Los datos meteorológicos (valores promedios mensuales) son: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, humedad relativa, precipitación y velocidad media del viento. A partir de estos datos, se determinó en el programa Eto calculator (FAO, 2012) (Figura 7) la evapotranspiración de referencia (ET₀).

Data and ETo menu

Station Chacras de coria Country Mendoza File Est.chacrasdecoria.E

Input data description | Meteorological data and ETo | Plot data | Export results

° Celsius
 °Fahrenheit

Air temperature

Mean temperature [°C]

Minimum and Maximum temperature [°C]

Air humidity

Mean Relative Humidity [%]

Minimum and Maximum Relative Humidity [%]

Mean dew point temperature [°C]

Mean actual vapour pressure [kPa]

Psychrometric data

Mean dry and wet bulb temperature [°C]

Ventilated Coefficient psychrometer
 Natural ventilated 0.000800
 Indoors

IF missing air humidity

Tdew = Tmin + subtract 2.0 [°C] (semi)arid

Wind speed

Mean wind speed [km/day]

height of measurement 10.0 [meter]

IF missing wind speed

U2 = 43.2 km/day light wind

Sunshine and Radiation

Hours of bright sunshine (n) [hours]

Relative sunshine hours (n/N) [-]

Solar radiation (Rs) [MJ/m2.day]

Net radiation (Rn) [MJ/m2.day]

Coefficients Angstrom equation

IF missing radiation

Rs = 0.16 x SQRT(Tmax - Tmin) x Ra

Figura 7: Programa Eto calculator.

La superficie de referencia se describe como un escenario ficticio de pasto, con una altura estimada de 0,12 m, una resistencia superficial constante de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23. Este modelo se asemeja notablemente a una extensa área de pasto verde, que recibe un riego adecuado, con altura uniforme y en un estado de crecimiento activo, proyectando sombra completa sobre el suelo. La resistencia superficial constante de 70 s m⁻¹ indica un suelo moderadamente seco que recibe riego aproximadamente una vez por semana. Para su cálculo, se utiliza la ecuación de Penman-Montheith como un método global estandarizado reconocido (Allen et al., 2006, p. 15):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

siendo:

ET _o	Evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
R _n	Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _a	Radiación extraterrestre (mm día ⁻¹)
G	Flujo del calor de suelo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u ₂	Velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
e _s	Presión de vapor de saturación (kPa)
e _a	Presión real de vapor (kPa)
e _s - e _a	Déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	Constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

2.4.2. Coeficientes de cultivos y etapas de desarrollo

El coeficiente de cultivo (k_c) depende de cuatro características particulares del cultivo en cuestión, que lo diferencian del pasto de referencia: altura del cultivo; albedo (reflectancia); resistencia del cultivo y evaporación que ocurre en el suelo. Por otro lado, la etapa de desarrollo en la que se encuentre el cultivo y sus correspondientes cambios en crecimiento y estructura, afectarán al valor de k_c (Allen et al., 2006).

Los datos de K_c y la duración de las etapas de desarrollo se obtuvieron del manual FAO N° 56 y su actualización (Updates Advances to the FAO 56 Crop Water Requirements Methods, Agricultural Water Management). El software Cropwat 8.0 (FAO, 2006) permitió calcular los valores de k_c medios mensuales.

2.4.3. Demanda de riego de los cultivos

Una vez obtenidos los valores de ET_o y k_c , se determinó la evapotranspiración mensual del cultivo (ET_c), es decir, “la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas” (Allen et al., 2006, p.87). El cálculo de la ET_c para cada mes de demandas, se realizó según la metodología del manual FAO N° 56 (Allen et al., 1998):

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Donde:

ET_c	Evapotranspiración de cultivo (mm día^{-1})
K_c	Coeficiente de cultivo
ET_o	Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})

Posteriormente se determinó las necesidades de riego netas de un cultivo (Nn) que hace referencia a la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (Ppe) de la zona de estudio.

$$Nn = ET_c - Ppe$$

Donde:

Nn	Necesidades netas de riego (mm día^{-1})
ET_c	Evapotranspiración del cultivo (mm día^{-1})
Ppe	Precipitación efectiva

En nuestro caso, como el ACRE se encuentra en la provincia de Mendoza, las precipitaciones no van a ser consideradas ya que no contribuyen notablemente a la demanda de los cultivos.

Se ajustó la demanda del cultivo bajo el método de riego superficial para obtener la necesidad de riego bruta máxima (Nb). La misma resulta del cociente entre el requerimiento neto y las eficiencias de conducción y aplicación del método de riego. Los valores utilizados en la planificación inicial son los siguientes: a) eficiencia de conducción= 90% y b) eficiencia de aplicación= 55%.

$$Nb = \frac{Nn}{EA \times EC}$$

$$EF = EA \times EC$$

Donde:

Nb	Necesidades brutas de riego (mm día ⁻¹)
Nn	Necesidades netas de riego (mm día ⁻¹)
EA	Eficiencia de aplicación del método de riego
EC	Eficiencia de conducción

2.4.4. Superficie factible de riego

Finalmente, en función de las necesidades brutas y los caudales disponibles tratados de acuerdo al número de conexiones existentes, se determinan las superficies factibles de riego:

$$SFR = \frac{Nb}{Of}$$

siendo:

SFR	Superficie factible de riego (ha)
Nb	Necesidades brutas de riego (m ⁻³ ha ⁻¹ día ⁻¹)
Of	Oferta de efluente tratado (m ⁻³ día ⁻¹)

Para determinar la superficie requerida de ambos cultivos que consuma todo el efluente, se siguió un proceso específico. En primer lugar, se seleccionó la cantidad de hectáreas a sembrar de alfalfa, tomando un promedio entre las hectáreas correspondientes a los meses en los cuales el verdeo de invierno no está activo (de octubre a febrero), período en el cual no requiere consumo de agua. Posteriormente, se llevó a cabo un proceso iterativo empleando la herramienta "Solver". Se fijó como celda objetivo la necesidad bruta por mes (igualándola a cada uno de los escenarios: 400, 800 y 1600 mm día⁻¹), y se consideraron como celdas variables las eficiencias, estableciendo un rango de entre 0,25 a 0,8. De esta manera, se determinó la cantidad máxima de hectáreas que podían ser plantadas con verdeo de invierno, respetando las restricciones de eficiencia y necesidad bruta, y garantizando la reutilización total del efluente disponible.

2.4.5. Calendarización estratégica de riego

La calendarización estratégica del riego se fundamenta en determinar la periodicidad (intervalo de riego) y la cantidad óptima de riego (lámina de riego) para cada tipo de suelo y cultivo. Para llevar a cabo esta calendarización, se utilizó el software Cropwat (8.0) (Figura 8), el cual emplea datos climáticos de entrada como la Evapotranspiración de referencia (Tabla 12) y la precipitación efectiva. Además, utiliza información específica de los cultivos (Tabla 7) como los coeficientes de cultivo (K_c), las etapas de desarrollo en días, la profundidad radicular (D), la fracción de agotamiento crítico (p), el factor de respuesta al rendimiento (K_y) y la altura del cultivo en metros.

El software también considera datos relacionados con el suelo, el agua disponible total (Tabla 10), y los requerimientos de agua del cultivo (Tabla 18). Para la programación del riego, se adoptaron dos criterios fundamentales (Tabla 8): la frecuencia de riego (establece el momento adecuado para realizar el riego) y la cantidad de agua a aplicar en cada riego (determinando la cantidad óptima de agua necesaria para cada cultivo en un determinado periodo).

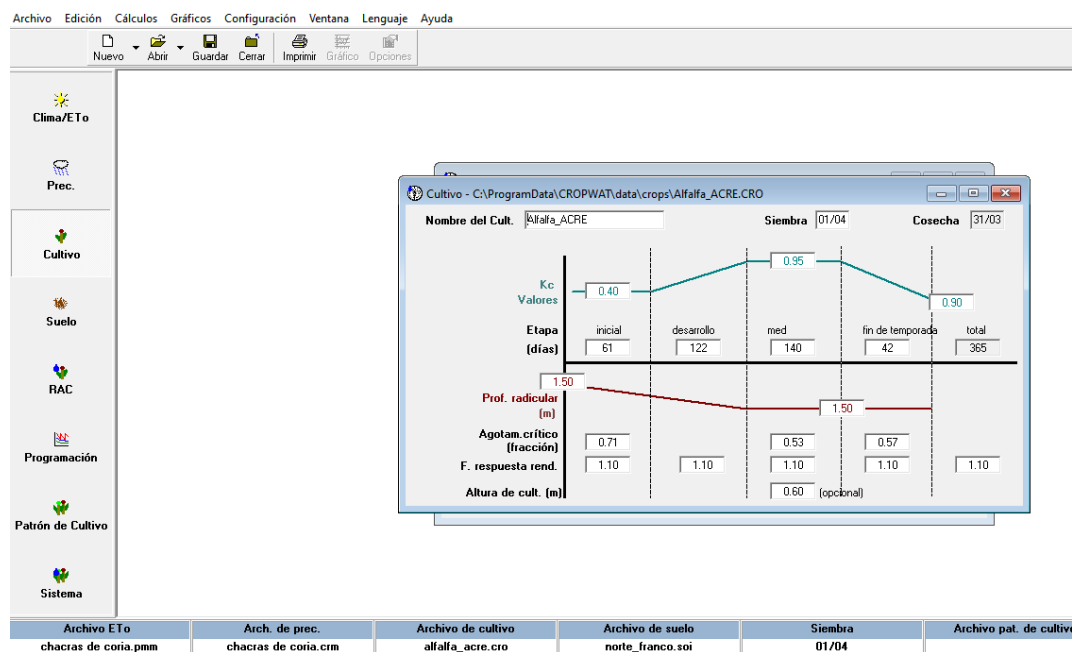


Figura 8: Software Cropwat (8.0).

Tabla 7: Datos de cultivo de entrada en Cropwat 8.0.

Variable	Alfalfa	Verdeo de invierno
Estado inicial (días)	61	30
Estado desarrollo (días)	122	91
Estado medio (días)	140	30
Estado final (días)	42	30
k_c inicial	0.40	0.30
k_c medio	0.95	1.15
k_c final	0.90	0.40
D (m)	1.50	1.00
p promedio	0.60	0.68
k_y	1.10	1.05
Altura cultivo (m)	0.60	0.60

Tabla 8: Datos de programación de riego de entrada a Cropwat 8.0.

Variable	Alfalfa y verdeo de invierno
Frecuencia	Regar a agotamiento crítico
Aplicación	Reponer a capacidad de campo

El calendario de riego tiene valores de ADT, AFA (Agua Fácilmente Aprovechable) y de agotamiento a lo largo de los días luego de cada riego. El AFA representa la porción de agua disponible en el suelo para las plantas, sin causar estrés hídrico, y se encuentra por encima del punto de marchitez permanente. Aunque teóricamente hay agua disponible hasta ese punto, a medida que la humedad del suelo disminuye, el agua

se retiene con mayor fuerza, lo que dificulta su extracción por las raíces. Esto resulta en una incapacidad de las raíces para absorber el agua a un ritmo suficiente para satisfacer la demanda de transpiración de la planta. El cálculo de la AFA se realizó según la metodología del manual FAO N° 56 (Allen et al., 1998):

$$AFA = p \times ADT$$

AFA	Agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo (mm)
p	Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada en la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico
ADT	Agua disponible total (mm)

El valor de p varía entre cultivos, y según el poder evaporante de la atmósfera. Para ajustar el p a la tasa de ET_c se utiliza la siguiente fórmula (Allen et al., 1998):

$$p \text{ ajustado} = p \text{ referencia} + 0,04 \times (5 - ET_c)$$

p ajustado	Fracción de agotamiento ajustado a la ET _c máxima
p referencia	Fracción de agotamiento para ET _c ≈ 5 mm día ⁻¹
ET _c	Evapotranspiración del cultivo máxima para las etapas inicial media y final de desarrollo (mm día ⁻¹)

Tabla 9: Valores de p ajustado a la ET_c máxima.

Etapa de desarrollo	Alfalfa			Verdeo de Invierno		
	Inicial	Media	Final	Inicial	Media	Final
p referencia	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
ET _c máxima	0.95	5.48	4.50	1.05	2.20	2.00
p ajustada	0.71	0.53	0.57	0.70	0.66	0.67

Fuente: Los valores de p referencia son Allen et al. (1998).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

Actualmente la planta de tratamiento Agrelo recibe un caudal de 6500 m³ mes⁻¹, es decir aproximadamente 216 m³ día⁻¹, que corresponden a las 200 conexiones domiciliarias aledañas a la planta.

Se llevaron a cabo comparaciones entre los valores de los parámetros detallados en la Tabla 1 y aquellos establecidos en conformidad con los límites especificados en la Resolución N° 52/20-HTA (Anexo 1-b), denominada "Revisión integral de la resolución 778/96". Se pudo constatar que los valores obtenidos cumplen con los límites establecidos en dicha resolución.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE SUELO

3.2.1. Zonas de manejo

En la tabla 10 se observan los resultados del análisis de suelo en el área de estudio y los valores obtenidos de agua disponible total promedio (ADT). Para el cultivo de la alfalfa el ADT promedio es de 96 mm y para los verdeos de invierno de 64 mm. La textura principal de los suelos en la zona de estudio es franco arenoso.

Tabla 10: Parámetros físicos del suelo en los puntos de muestreo del área de estudio.

Pozo	Vs promedio (cm ³ %g)	Textura	Wc (%)	Wm (%)	Pea (gr cm ³ - ¹)	Psm (%)	P (%)	D Alfalfa (mm)	ADT Alfalfa (mm)	D Verdeo de invierno (mm)	ADT Verdeo de invierno (mm)
1	106	Franco Limoso	31	15	1.30	1	0.85	1500	46.80	1000	31.20
2	94	Franco	22	10	1.40	1	0.85	1500	37.80	1000	25.20
3	103	Franco	22	10	1.40	1	0.85	1500	37.80	1000	25.20
4	96	Franco	22	10	1.40	1	0.85	1500	37.80	1000	25.20
5	92	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
6	89	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
7	83	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
8	84	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
9	81	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
10	80	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
11	85	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
12	91	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00
13	95	Franco	22	10	1.40	1	0.40	1500	151.20	1000	100.80
14	90	Franco Arenoso	14	6	1.50	1	0.40	1500	108.00	1000	72.00

Nota: Vs (Volumen de sedimentación), Wc (Capacidad de campo), Wm (Capacidad de marchitez), PEA (Densidad aparente) y D (profundidad radicular).

En las figuras 9 y 10, extraídas del complemento Smart-Map (Pereira et al., 2022) de Quantum GIS (QGIS), se presentan las zonas de manejo (2) y sus respectivos índices (FPI: 0.023 y NCE: 0.027) según el tipo de cultivo.

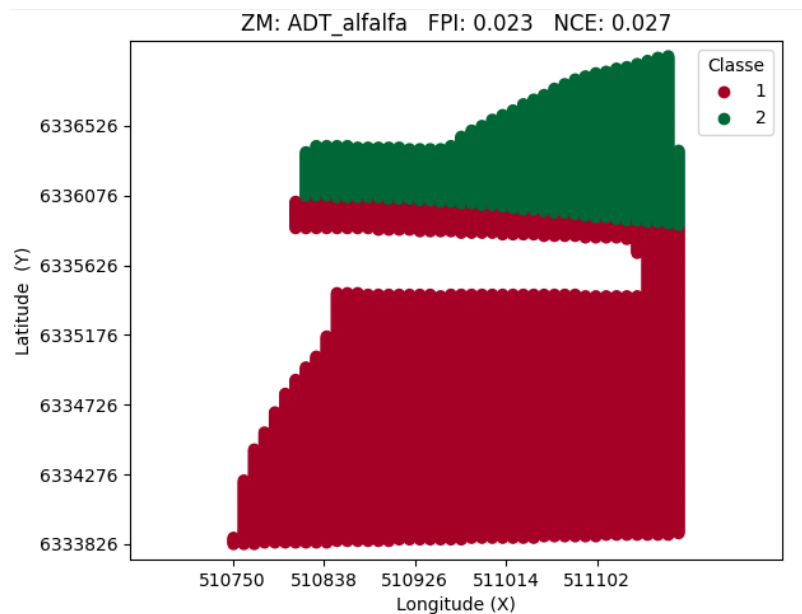


Figura 9: Zonas de manejo, FPI y NCE para alfalfa.

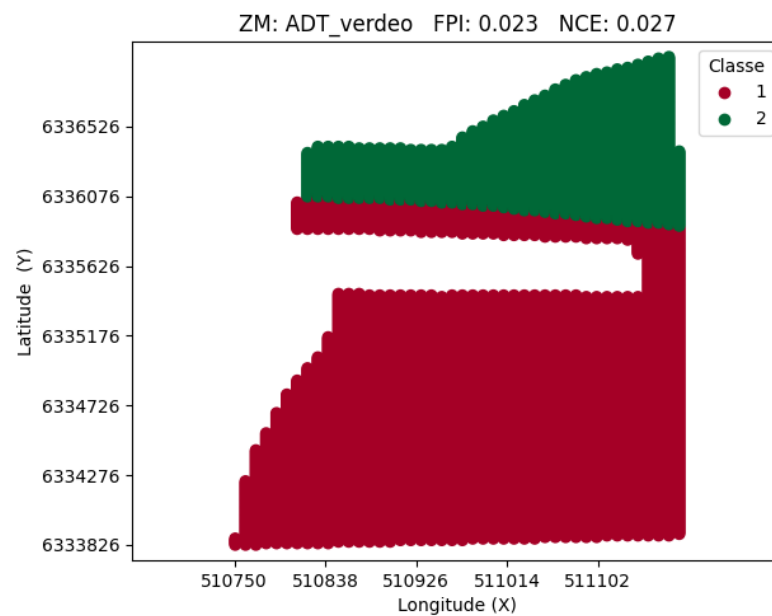


Figura 10: Zonas de manejo, FPI y NCE para verdeo de invierno.

Según los análisis de hidro-zonas o ambientes de riego pudo observarse en las Figuras 11 y 12, que la primera zona de manejo va del punto de muestreo de suelo 1 al 4 donde la textura predominante es franca con alto nivel de pedregosidad (85%) y ADT promedio de 40.05 mm en alfalfa y 26.70 mm en verdeo de invierno, mientras que la segunda zona de manejo va del punto de muestreo 5 al 14 donde predomina la textura de suelo franco arenosa, se observa un menor nivel de pedregosidad (40%) y ADT promedio de 117.72 mm en alfalfa y 78.48 mm en verdeo de invierno.

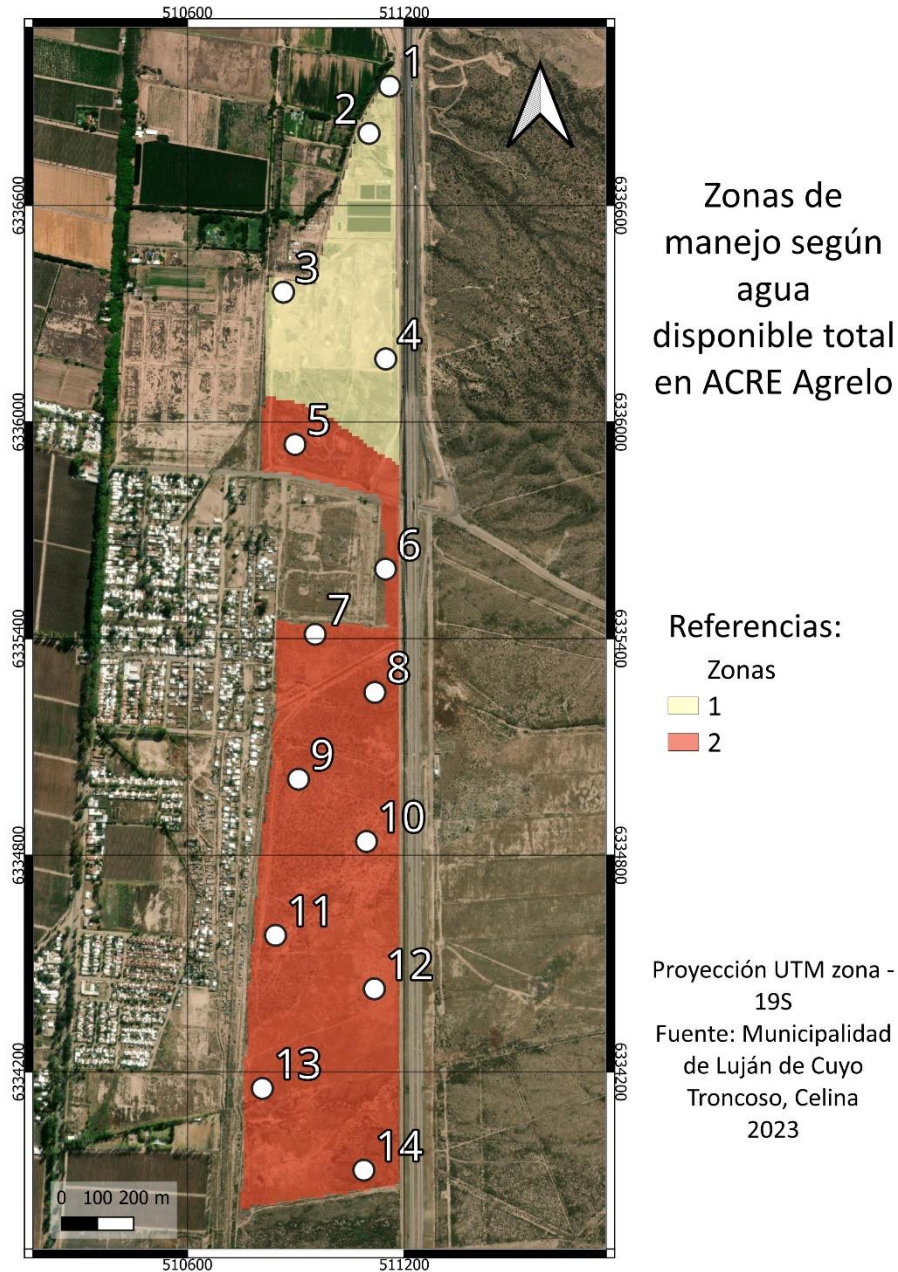


Figura 11: Zonas de manejo según agua disponible total (ADT).

3.3. CALENDARIZACIÓN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

3.3.1. Información meteorológica

La Tabla 11 muestra las variables climáticas promedio de la estación de Chacras de Coria-Mendoza. Los rangos de valores mínimos y máximos fueron: para la temperatura máxima de 14 °C y 29.4 °C, para la temperatura mínima de 0.8 °C y 15.9 °C, para la temperatura media de 7.3 y 24.3 °C, para la humedad relativa entre 48.7 y 69.1 % y para la velocidad del viento desde 55.3 a 80.5 km/día.

Tabla 11: Variables climáticas medias mensuales de la estación meteorológica Chacras de Coria, serie 1956-2016.

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km día ⁻¹)
Enero	29.39	15.94	24.28	53.80	64.98
Febrero	28.02	14.63	22.63	58.80	70.06
Marzo	25.23	12.46	19.49	65.25	59.14
Abril	21.16	8.24	15.01	68.38	55.27
Mayo	17.30	4.21	10.72	69.07	55.93
Junio	14.05	0.84	7.26	67.96	59.33
Julio	15.18	1.33	8.28	62.68	67.14
Agosto	16.32	1.82	9.29	57.39	74.96
Setiembre	18.93	4.71	12.88	52.78	78.15
Octubre	22.94	8.64	17.39	50.72	80.54
Noviembre	26.05	11.66	20.79	48.75	76.63
Diciembre	28.65	14.59	23.57	50.53	73.59

La evapotranspiración de referencia promedio diaria mensual tiene un valor mínimo y máximo entre 1.50 mm.día⁻¹ en el mes de junio y 6.00 mm.día⁻¹ en el mes de diciembre respectivamente (Tabla 12).

Tabla 12: Evapotranspiración de referencia (ET_o, mm día⁻¹) según la probabilidad de ocurrencia del 50%, para la Estación Chacras de Coria (Serie 1956-2016).

Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1,70	2,30	3,30	4,50	5,50	6,00	5,90	5,10	3,90	2,70	1,90	1,50

3.3.2. Etapas de desarrollo de cultivo

El cultivo de la alfalfa tiene una etapa inicial de abril a mayo, seguida por su fase de desarrollo en junio, julio, agosto y septiembre. Posteriormente, la etapa media es desde octubre hasta mediados de febrero, y culmina su ciclo con su etapa final desde la última quincena de febrero hasta marzo (Tabla 13). La decisión estratégica de sembrarla en el mes de abril se fundamenta en la intención de desarrollar un sistema radical sólido que le permita a la planta acumular reservas antes de las primeras heladas que suelen ocurrir en mayo. Esta estrategia busca fortalecer su estructura y reservas nutricionales para enfrentar condiciones adversas y promover un crecimiento saludable durante su ciclo vegetativo.

Tabla 13: Etapas de desarrollo del cultivo de Alfalfa en coincidencia con los meses del año.

Inicial		Desarrollo				Media				Final		
Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Feb	Mar

Fuente: Cátedra de Agricultura Especial FCA UNCuyo.

La etapa inicial de los cultivos de verdes de invierno es desde la 2° quincena de marzo hasta la 1° quincena de abril. La etapa de desarrollo desde la 2° quincena de abril hasta la 1° quincena de julio. La etapa media desde la 2° quincena de julio hasta la 1° quincena de agosto, y su etapa final desde la 2° quincena de agosto a la 1° de septiembre (Tabla 14).

Tabla 14: Etapas del desarrollo del cultivo de Verdeo de invierno en coincidencia con los meses del año.

Inicial		Desarrollo				Media		Final	
Mar	Abr	Abr	May	Jun	Jul	Jul	Ago	Ago	Sep

Fuente: Cátedra de Agricultura Especial FCA UNCuyo.

3.3.3. Coeficientes de cultivo

Las tablas 15 y 16 muestran los coeficientes de los cultivos seleccionados. Es común observar que los valores más altos del coeficiente de cultivo corresponden a la etapa media del cultivo, seguidos por valores medios durante las etapas de desarrollo y final, y valores más bajos en la etapa inicial de desarrollo. Esta variación se explica por las características y estructuras que presenta el cultivo en cada etapa de su ciclo. En la etapa media del cultivo, por lo general, se observa un mayor desarrollo vegetativo y una mayor demanda de agua debido al crecimiento activo de la planta. En las etapas de desarrollo y final, aunque la demanda de agua continúa siendo significativa, es probable que la planta haya alcanzado cierto nivel de madurez, lo que puede traducirse en un menor requerimiento hídrico en comparación con la etapa media. Por otro lado, en la etapa inicial de desarrollo, el cultivo suele estar en una fase incipiente, con menor desarrollo vegetativo, lo que resulta en una demanda de agua más baja y, por ende, valores más bajos de coeficiente de cultivo. Estas variaciones en los valores del coeficiente de cultivo a lo largo del ciclo del cultivo reflejan las necesidades cambiantes de agua y el estado de crecimiento de la planta en cada etapa específica de su desarrollo.

Tabla 15: Valores de K_c para el cultivo de Alfalfa.

Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
0,40	0,40	0,48	0,63	0,78	0,94	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,98

Fuente: Allen et al., 2006

Tabla 16: Valores de K_c para el cultivo de Verdeo de invierno.

Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
0,30	0,35	0,63	0,94	1,19	1,05	0,48	-	-	-	-	-

Fuente: Allen et al., 2006

En las figuras 13 y 14 se representa de forma gráfica la variación de los coeficientes de cultivos a lo largo del ciclo agrícola y para cada una de las etapas de desarrollo o fase para los cultivos de alfalfa y verdes invernales.

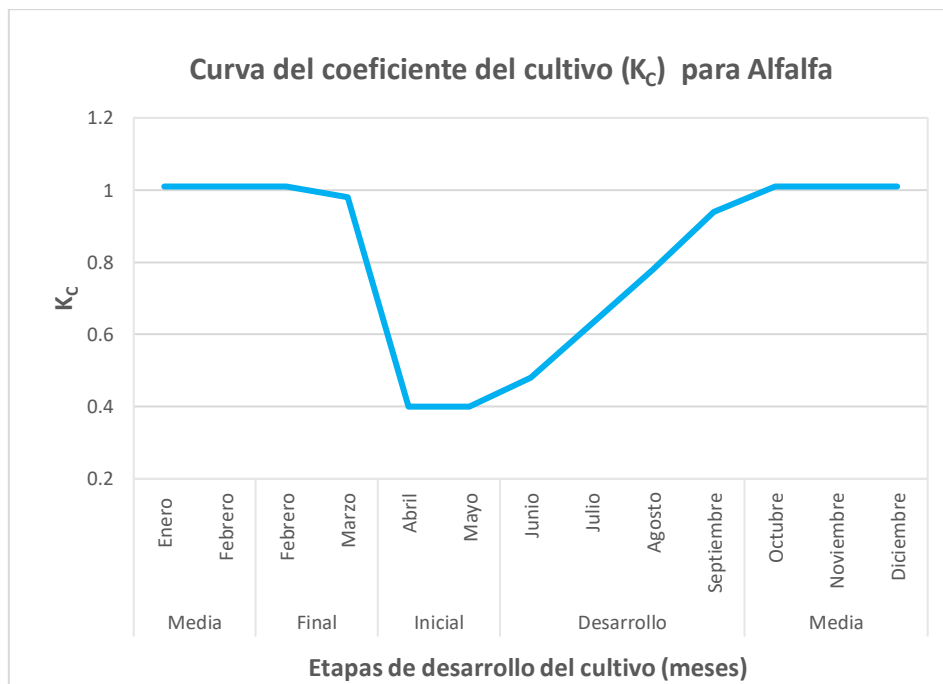


Figura 12: Curva de kc para alfalfa.

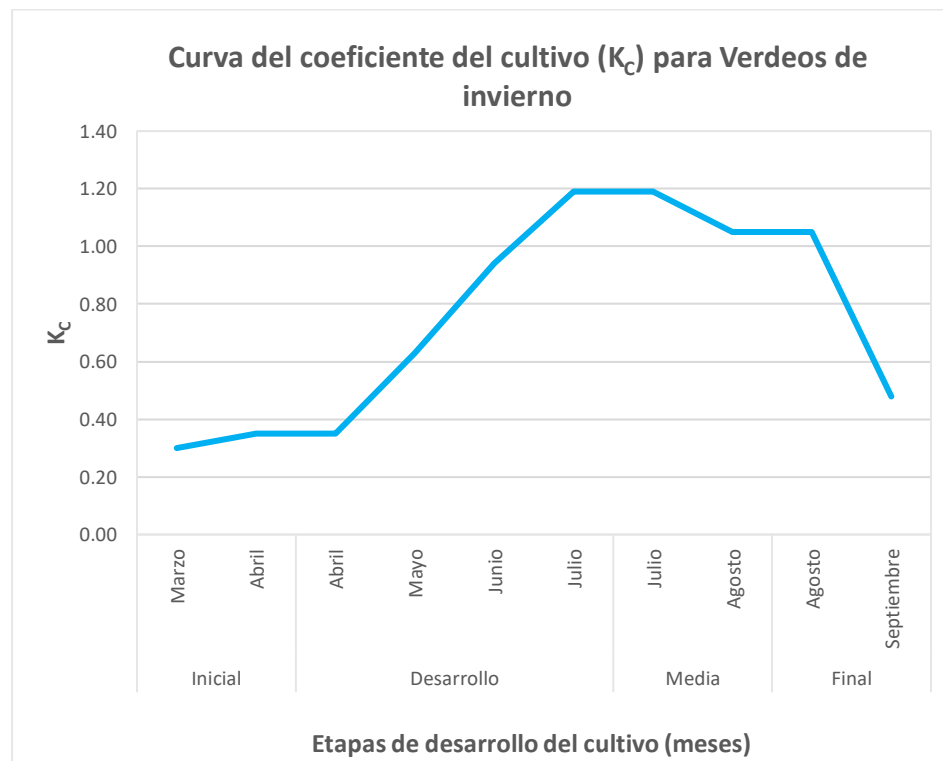


Figura 13: Curva de kc para verdes de invierno.

3.3.4. Demanda de riego de los cultivos

La evapotranspiración máxima del cultivo de alfalfa corresponde a los meses de verano (diciembre, enero y febrero), y la mínima en los meses de mayo y junio. En el caso de los verdes de invierno la máxima evapotranspiración se da en los meses de julio y agosto, mientras que la mínima corresponde a marzo. Se utilizó la herramienta Solver de Excel para ajustar las eficiencias de conducción y aplicación del método de riego, de manera que se pudieran consumir las ofertas disponibles de efluente para cada etapa (400, 800 y 1600 m³día⁻¹), logrando un promedio constante de 0.50, que es lo habitual para el riego por manto.

En la tabla 18 se ven las necesidades brutas y netas para el consumo de 400 m³día⁻¹, en el anexo se encuentran las tablas para el consumo de 800 y 1600 m³día⁻¹ (Tabla 24 y 25). En el caso de la Alfalfa, se ha identificado que sus mayores necesidades de riego brutas se presentan durante los meses de octubre a febrero, mientras que sus requerimientos hídricos más bajos se encuentran en mayo y junio. Por otro lado, el Verdeo de Invierno muestra patrones previsible en cuanto a sus necesidades de agua, con sus máximos requerimientos hídricos en los meses de mayo y junio, como era de esperarse, y con una disminución en sus requerimientos, principalmente en el mes de marzo.

Tabla 17: Evapotranspiración máxima mensual del cultivo de Alfalfa y Verdeo de Invierno

Mes	ET _o 50% (mm día ⁻¹)	Alfalfa				Verdeo de invierno			
		Días mes ⁻¹	ET _o 50% (mm mes ⁻¹)	K _c	ET _c (mm mes ⁻¹)	Días mes ⁻¹	ET _o 50% (mm mes ⁻¹)	K _c	ET _c (mm mes ⁻¹)
Enero	5.90	31	182.90	1.01	184.73	0	0.00	0.00	0.00
Febrero	5.10	28	142.80	1.01	144.23	0	0.00	0.00	0.00
Marzo	3.90	31	120.90	0.98	118.48	15	58.50	0.30	17.55
Abril	2.70	30	81.00	0.40	32.40	30	81.00	0.35	28.35
Mayo	1.90	31	58.90	0.40	23.56	31	58.90	0.63	37.11
Junio	1.50	30	45.00	0.48	21.60	30	45.00	0.94	42.30
Julio	1.70	31	52.70	0.63	33.20	31	52.70	1.19	62.71
Agosto	2.30	31	71.30	0.78	55.61	31	71.30	1.05	74.87
Septiembre	3.30	30	99.00	0.94	93.06	15	49.50	0.48	23.76
Octubre	4.50	31	139.50	1.01	140.90	0	0.00	0.0	0.00
Noviembre	5.50	30	165.00	1.01	166.65	0	0.00	0.0	0.00
Diciembre	6.00	31	186.00	1.01	187.86	0	0.00	0.0	0.00

Tabla 18: Necesidades netas y brutas de riego mensuales para una oferta de 400 m³ día⁻¹ de efluentes.

Mes	Alfalfa					Verdeo de invierno				
	Nn (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Días mes ⁻¹	Nn (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Eficiencia	Nb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Nn (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Días mes ⁻¹	Nn (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Eficiencia	Nb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)
Enero	59.59	31	1847.29	0.52	3542.86	0.00	0	0.00	0.59	0.00
Febrero	51.51	28	1442.28	0.45	3200.00	0.00	0	0.00	0.51	0.00
Marzo	38.22	31	1184.82	0.51	2317.36	11.70	15	175.50	0.63	276.72
Abril	10.80	30	324.00	0.32	998.57	9.45	30	283.50	0.25	1134.00
Mayo	7.60	31	235.60	0.38	614.44	11.97	31	371.07	0.27	1366.60
Junio	7.20	30	216.00	0.48	453.55	14.10	30	423.00	0.30	1388.34
Julio	10.71	31	332.01	0.40	825.87	20.23	31	627.13	0.49	1267.93
Agosto	17.94	31	556.14	0.80	695.18	24.15	31	748.65	0.56	1328.92
Septiembre	31.02	30	930.60	0.57	1620.37	15.84	15	237.60	0.56	421.91
Octubre	45.45	31	1408.95	0.40	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Noviembre	55.55	30	1666.50	0.49	3428.57	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Diciembre	60.60	31	1878.60	0.53	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Promedio				0.50					0.50	
Total	396.19		12022.79		24782.48	107.44		2866.45		7184.42

3.3.5. Superficie factible de riego

La mayor superficie factible de riego para el cultivo de alfalfa se identifica en los meses de junio en los tres escenarios de oferta de efluente, mientras que la menor superficie se registra en enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre en estos mismos escenarios, en concordancia con la demanda hídrica del cultivo. Los valores promedios anuales de superficie factible de riego para los tres escenarios planteados son de 10.1 hectáreas (400 m³día⁻¹), 20.8 hectáreas (800 m³día⁻¹) y 43.6 hectáreas (1600 m³día⁻¹).

En el caso del verdeo de invierno, se destaca que la mayor y menor superficie factible de riego se concentra en los meses de marzo y junio para los tres escenarios de oferta de efluente. Los valores promedios anuales de superficie factible de riego para los tres escenarios planteados son de 6.9 hectáreas (400 m³día⁻¹), 14 hectáreas (800 m³día⁻¹) y 27.9 hectáreas (1600 m³día⁻¹).

Tabla 19: Superficie factible de riego de Alfalfa y verdeo de invierno, para cada oferta de efluente tratado y para cada mes del año.

Mes	Superficie factible de riego (ha) Alfalfa			Superficie factible de riego de Verdeo de invierno (ha)		
	400 (m ³ día ⁻¹)	800 (m ³ día ⁻¹)	1600 (m ³ día ⁻¹)	400 (m ³ día ⁻¹)	800 (m ³ día ⁻¹)	1600 (m ³ día ⁻¹)
Enero	3.50	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00
Febrero	3.50	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00
Marzo	5.35	10.78	21.56	21.68	42.78	85.55
Abril	12.02	18.52	37.04	10.58	24.12	48.23
Mayo	20.18	47.97	95.93	9.07	17.56	35.13
Junio	26.46	52.92	130.00	8.64	17.29	33.62
Julio	15.01	33.86	67.72	9.78	18.91	37.82
Agosto	17.84	35.67	71.35	9.33	18.66	37.32
Septiembre	7.41	14.74	29.41	14.22	28.57	57.26
Octubre	3.50	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00
Noviembre	3.50	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00
Diciembre	3.50	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00

La Tabla 20 muestra la cantidad de hectáreas requeridas para cada cultivo y el total en función de la cantidad anticipada de conexiones domiciliarias. Esta elección se basó en considerar que durante los meses de octubre a febrero el verdeo de invierno no requerirá agua, por lo que se establece la cantidad total de hectáreas de alfalfa necesarias. Por ejemplo, para una oferta de efluente de 400 m³/día se calculó que se necesitarían 3,5 hectáreas de alfalfa. Las hectáreas de verdeo de invierno se determinaron de forma iterativa hasta llegar a la conclusión de que deberían ser un poco más del doble que las hectáreas de alfalfa, de forma tal de consumir todo el efluente disponible a lo largo de todo el año.

Tabla 20: Superficie a implantar de Alfalfa y Verdeo de invierno para cada escenario planteado de oferta de efluente.

Oferta de efluentes (m ³ día ⁻¹)	Hectáreas de Alfalfa	Hectáreas de Verdeo de invierno	Hectáreas totales
400.0	3.50	7.50	11.00
800.0	7.00	15.00	22.00
1600.0	14.00	30.00	44.00

La Tabla 21 presenta un ejemplo de cómo se calculó el área necesaria de verdeo de invierno para consumir los 400 m³día⁻¹ (en el Anexo Tabla 26 y Tabla 27 se encuentran los cálculos para las hectáreas de verdeo de invierno en condiciones de disponibilidad de efluente de 800 y 1600 m³ día⁻¹).

Tabla 21: Superficie de Verdeo de Invierno para consumir 400 m³ día⁻¹ de efluentes.

Mes	Alfalfa			Verdeo de Invierno			Consumo de ambos cultivos (m ³ día ⁻¹)
	Nb (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Hectáreas	Consumo (m ³ día ⁻¹)	Nb (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Hectáreas	Consumo (m ³ día ⁻¹)	
Enero	114.29	3.50	400.00	0.00	7.50	0.00	400.00
Febrero	114.29	3.50	400.00	0.00	7.50	0.00	400.00
Marzo	74.75	3.50	261.64	18.45	7.50	138.36	400.00
Abril	33.29	3.50	116.50	37.80	7.50	283.50	400.00
Mayo	19.82	3.50	69.37	44.08	7.50	330.63	400.00
Junio	15.12	3.50	52.91	46.28	7.50	347.09	400.00
Julio	26.64	3.50	93.24	40.90	7.50	306.76	400.00
Agosto	22.43	3.50	78.49	42.87	7.50	321.51	400.00
Septiembre	54.01	3.50	189.04	28.13	7.50	210.96	400.00
Octubre	114.29	3.50	400.00	0.00	7.50	0.00	400.00
Noviembre	114.29	3.50	400.00	0.00	7.50	0.00	400.00
Diciembre	114.29	3.50	400.00	0.00	7.50	0.00	400.00

3.3.6. Calendarización estratégica de riego

Los gráficos presentados a continuación tienen una disparidad notable en el contenido de agua disponible para los cultivos de alfalfa y verdeo de invierno entre la zona de manejo 1 y la zona de manejo 2 (Figuras 15, 16, 17 y 18).

En la zona de manejo 2, se observa un contenido de agua disponible para las plantas (ADT) que supera más del doble el disponible en la zona de manejo 1. Esta discrepancia se atribuye principalmente a las diferencias en el porcentaje de pedregosidad entre ambas zonas. En la primera zona de manejo, se registra un porcentaje de pedregosidad más del doble en comparación con la segunda zona. Esta mayor presencia de pedregosidad en el suelo dificulta la capacidad de retención del agua y favorece su drenaje. Si el porcentaje de pedregosidad de ambas zonas fuese uniforme, se revertiría el fenómeno observado. En este caso, la zona de manejo 1, debido a su textura más pesada, tendería a retener más agua que la zona de manejo 2.

La línea roja que representa el agotamiento de humedad en el suelo por el consumo del cultivo, indica el período en días posterior al riego en el cual se consume el agua fácilmente disponible para las plantas. En concordancia con lo anteriormente mencionado, se aprecia que la zona de manejo 1 requerirá una frecuencia de riego menor que la zona de manejo 2, debido a su capacidad de retención de agua más limitada.

En el contexto de la programación de riego para el cultivo de alfalfa en ambas zonas de manejo, se observa un patrón durante los primeros 70 días posteriores a la siembra, fase inicial de desarrollo (Figuras 15 y 16). Durante este período, el contenido de Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) se mantiene estable en 32 mm para la zona de manejo 1 y 76 mm para la zona de manejo 2. Se requerirán 2 riegos con 40 días de entremedio para la zona de manejo 1 y un solo riego para la segunda zona de manejo. Sin embargo, a partir del día 70 hasta los 180 días, en la etapa de desarrollo, se registra una disminución progresiva en la AFA, alcanzando valores de 23 mm en la zona de manejo 1 y 57 mm en la zona de manejo 2. Estos valores

se mantienen constantes hasta aproximadamente los 330 días, abarcando la etapa media y el comienzo de la fase final del ciclo del cultivo, con riegos menos frecuentes en comparación con la etapa inicial. Durante los últimos 35 días, correspondientes a la etapa final del ciclo, se observa un ligero aumento en la AFA, alcanzando los 25 mm para la zona de manejo 1 y 61 mm para la zona de manejo 2. En esta fase, se emplean riegos ligeramente más espaciados en comparación con la etapa intermedia del desarrollo del cultivo.

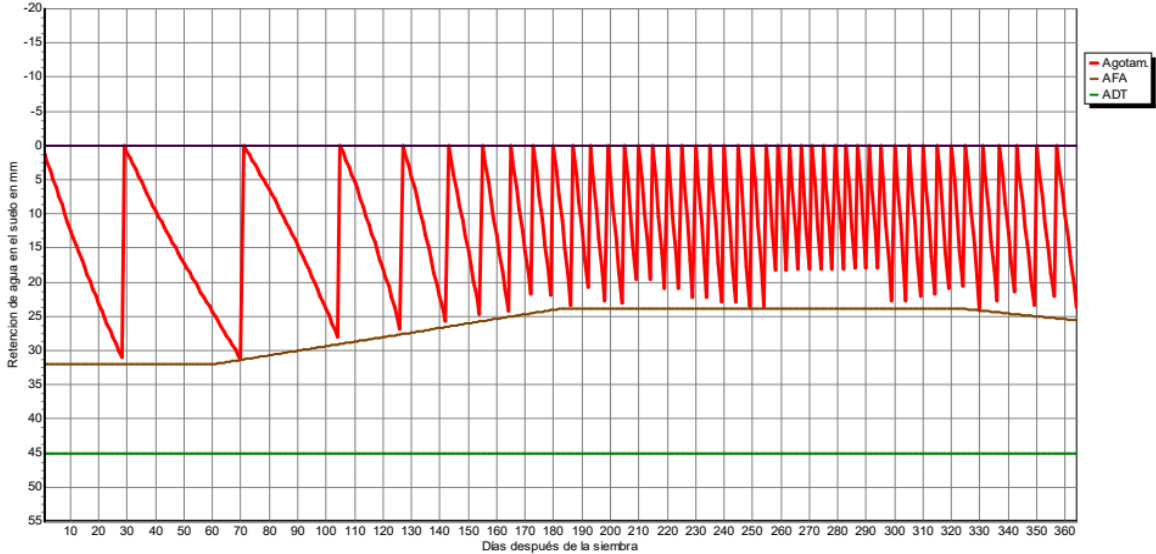


Figura 14: Programación de riego para cultivo de alfalfa y zona de manejo 1

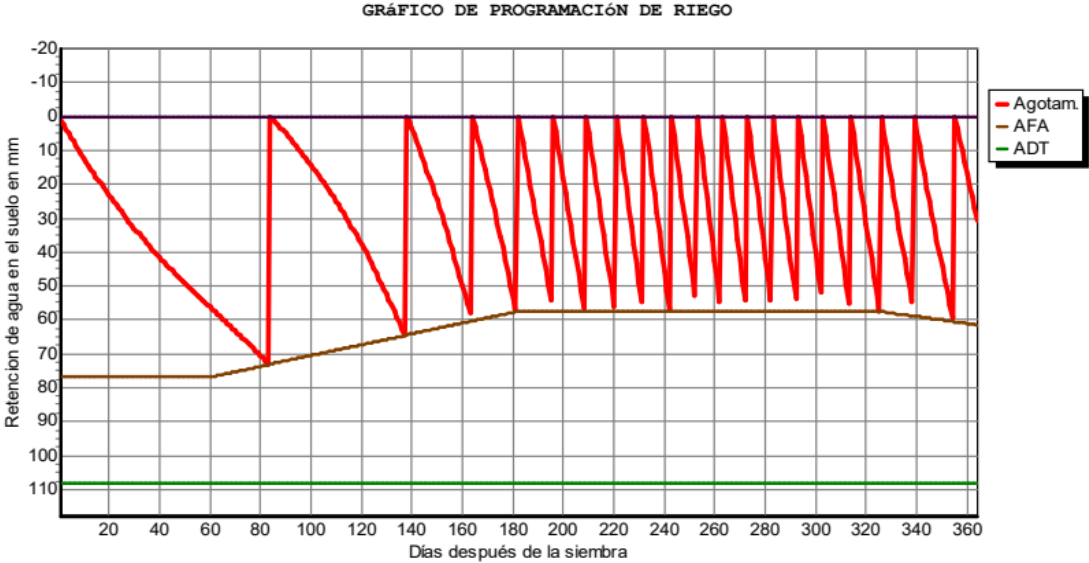


Figura 15: Programación de riego para cultivo de alfalfa y zona de manejo 2.

Por otro lado, la programación de riego de cultivo de verdeo de invierno en ambas zonas de manejo exhibe una menor variabilidad en los intervalos de riego y en los milímetros de Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) durante las diversas etapas de desarrollo, en comparación con el cultivo de alfalfa.

Durante los primeros 50 días aproximadamente posteriores a la siembra, correspondientes a las etapas iniciales y de desarrollo del cultivo, el valor de AFA para la zona de manejo 1 es de 18 mm y para la zona de manejo 2 es de 50 mm. La primera zona de manejo requiere tres riegos durante este período, mientras que la segunda zona solo necesita un riego.

En las etapas posteriores, de desarrollo medio y final (después de los 50 días), se mantiene una estabilidad en los valores de AFA. En la zona de manejo 1, estos valores se mantienen entre 17 y 16 mm, y se emplean 11 riegos con intervalos de 5 a 15 días entre ellos. Por otro lado, en la zona de manejo 2, se mantienen entre 47 y 48 mm de AFA con tan solo 5 riegos espaciados entre 20 y 40 días.

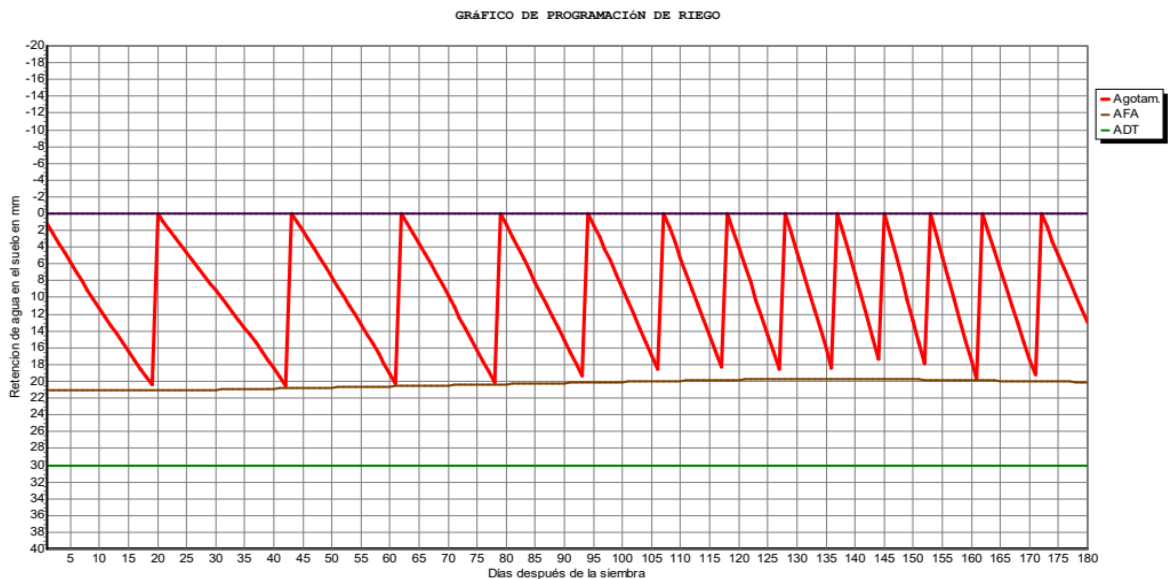


Figura 16: Programación de riego para cultivo de verdeo de invierno y zona de manejo 1.

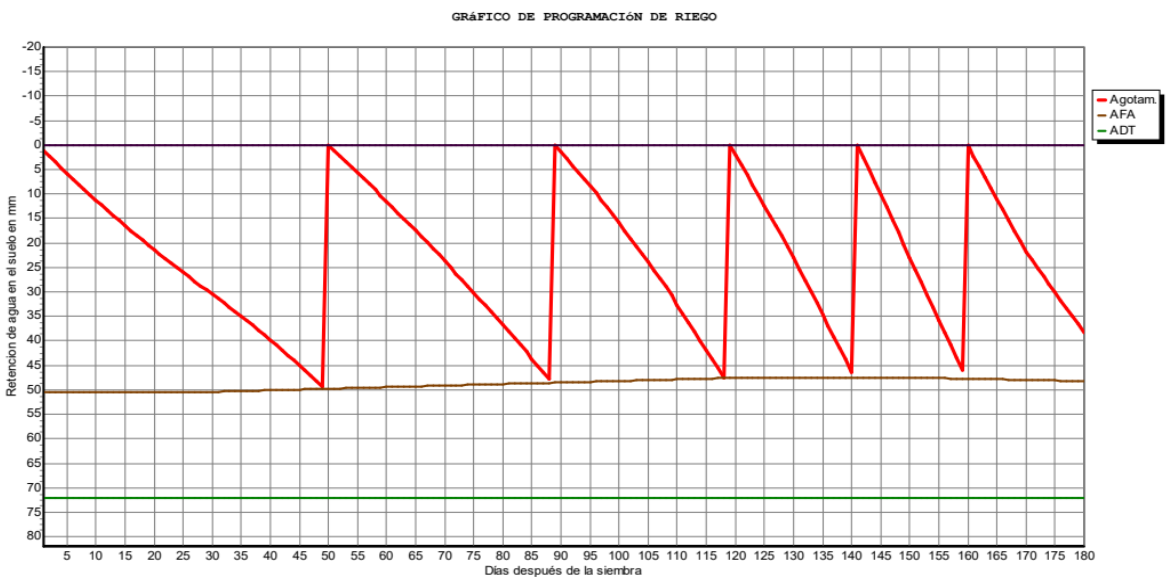


Figura 17: Programación de riego para cultivo de verdeo de invierno y zona de manejo 2.

La tabla 22 resumen el calendario de riego de los cultivos planificados en el ACRE, y la lámina bruta anual por cultivo y zona de manejo. Las simulaciones de CROPWAT 8.0 se describen en detalle en el Anexo: Simulaciones Cropwat

Tabla 22: Intervalos de riego y láminas brutas promedio por cultivo, época del año y zona de manejo.

Cultivo	Época	Zona de manejo	IR promedio (días)	Lamina bruta promedio (mm)	Lamina bruta anual (mm)
Alfalfa	Verano	1	5	51.41	2349.30
	Otoño		26	59.63	
	Invierno		17	54.95	
	Primavera		5	54.00	
	Verano	2	11	120.73	2335.70
	Otoño		84	147.20	
	Invierno		40	127.25	
	Primavera		13	121.06	
Verdeo de invierno	Otoño	1	19	42.64	542.70
	Invierno		10	41.19	
	Otoño	2	45	99.60	492.40
	Invierno		24	97.73	

4. CONCLUSIONES

- Los escenarios de flujos diario de efluentes tratados (400 m³, 800 m³ y 1600 m³) permitirán disponer de un caudal continuo para el área de cultivos restringidos especiales (ACREs) y lograr producciones agrícolas rentables a medida que se incrementen las conexiones domiciliarias.
- La programación del riego de cultivos en ACREs contribuye al uso racional del efluente tratado en función de las demandas de agua del cultivo en cada época del año.
- La asociación de otras especies anuales y perennes de alto valor agregado en la cadena productiva permitirá consumir el efluente generado durante todo el año a medida que se incremente los volúmenes de agua tratada en los escenarios planteados.

5. RECOMENDACIONES

Debido al alto nivel de pedregosidad (85%) en la zona de manejo 1 se recomienda como alternativas de manejo:

- a) Creación de un bosque nativo que permita la captura de carbono, ofreciendo la posibilidad de comercializar bonos de carbono como producto. Sería necesario implementar un sistema de riego gravitacional utilizando tuberías de baja presión. Este sistema permite suministrar caudales reducidos, asegurando la absorción eficiente del efluente por parte de las plantas, especialmente en áreas con suelos pedregosos. Algunas posibles especies forestales nativas que podrían formar parte del bosque nativo son el Algarrobo (*Prosopis*) y el Aguaribay (*Schinus Areira*).
- b) Riego de espacios verdes de ruta 40 o acceso sur: otra alternativa sería poder regar con goteo enterrado los espacios verdes de la ruta 40, utilizando a favor las pendientes positivas de las mismas para el diseño del método de riego, pudiendo generar otro espacio de consumo para los efluentes.

La etapa posterior al presente estudio deberá definir el ¿cómo regar?, diseñando adecuadamente el método de riego, y proponiendo el plan operativo de las instalaciones para poder realizar a campo la planificación del calendario de riego propuesta. Ello incluye el diseño hidráulico de las instalaciones de riego, de las regueras principales de finca y del reservorio que será necesario ubicar en la parte con mayor dominancia de la propiedad bajo estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agua y Saneamiento Mendoza (2016). *Plan estratégico AySam SAPEM*. Mendoza.
https://www.aysam.com.ar/redactor_files/4/65a6dc5112-plan-estrategico-vfinal.pdf
- Alabaster, G., Johnston, R., Organización Mundial de la Salud, Thevenon, F., y Shantz, A. (2021). *Progreso en el tratamiento de aguas residuales*. Programa de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), Geneva.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements*. (8.0). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- AQUAREC. Salgot, M. y Huertas, E. (2006). Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater.
- Chambouleyron, J. (2005). *Riego y drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadío sustentable*. EDIUNC. Editorial Universidad Nacional de Cuyo.
- FAO. (2008). *Water at a Glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.
- FAO. (2012). *Land and water; Water Development and Management Unit and the Climate Change and Bioenergy Unit of FAO* (Version 3.2).
- FAO. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* (Informe n°35). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.
- Fridgen, J., Kitchen, R., Suddut, A., Drummond, T., Wiebold, J., y Fraisse Clyde W. (2004). Analisis de Zona de Manejo (MZA): Software para la Delimitación de Zona de Gestión de Subcampos. Sociedad Americana de Agronomía 96:100–108 (2004).
- Grosso, M. (2008). Uso, gestión e impactos del uso agrícola de aguas residuales en zonas áridas. Departamento de Lavalle, Mendoza, Argentina. *Revista geográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*.1-3. <https://doi.org/10.2307/40996774>
- Grosso, M. (2015). *Las tramas de la escasez hídrica en la Provincia de Mendoza, Argentina*. /Boletín de Estudios Geográficos, N° 104. 63-71.
- Hanela, S., Duek, A., Tagliavini, D., Gómez, C., Reale, M., Russian, Y., Comellas, E. y Salinas, M. (2016).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2023). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

- Luraschi, M. y Rauek, T. (2017). *Uso de aguas residuales en agricultura. Mendoza. Argentina* [Diapositiva de Powerpoint]. Repositorio material de Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. <http://www.uncuyo.edu.ar>
- MendoVoz (22 de mayo de 2020). *Ponen en funcionamiento la Planta Depuradora de Agrelo: Alrededor de 1.800 familias serán las beneficiadas por su inminente incorporación al servicio sanitario cloacal que presta la Municipalidad.* <https://www.mendovoz.com/lujan/la-comuna/2020/5/22/ponen-en-funcionamiento-la-planta-depuradora-de-agrelo-84993.html>
- Ministerio de Obras Públicas. (2021). *Informe de coyuntura sobre Acceso e igualdad al agua y al saneamiento.* Ministerio de Obras Públicas. Argentina.
- Municipalidad de Luján de Cuyo (2022). *Plan de acción climática de Luján de Cuyo.* Luján de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- Oyarzabal, A. (2017). Reingeniería en planta de tratamiento de efluentes cloacales [Tesis de grado]. Archivo digital. <http://bdigital.unal.edu.co/10578/>
- Pereira, G., Valente, D., Queiroz, D., Coelho, A., Costa, M. y Grift, T. (2022). Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. *Agronomy*, 12, 1350. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>
- Pereira, L., Paredes, P., Hunsaker, D., Lopez-Urrea, R., y Jovanovic, N. (2021). *Updates Advances to the FAO 56 Crop Water Requirements Methods.* *Agricultural Water Management.* <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106697>
- Resolución 400 de 2003 [Departamento General de Irrigación]. Reglamento general de Área de Cultivos Restringidos Especiales. 4 de julio de 2003.
- Resolución 51 de 2020 [Departamento General de Irrigación]. Revisión integral de la resolución 778/96. 20 de febrero de 2020.
- Resolución 778 de 1996 [Departamento General de Irrigación]. Reglamento General para el Control de Contaminación Hídrica. 23 de diciembre de 1996.
- Ronco, A. y Carriquiriborde, P. (2019). *Ecosistemas y sociedad. Impactos de las urbanizaciones sobre las cuencas hídricas* (pp.98). Editorial de la Universidad de La Plata.
- Sistematización de la normativa argentina relacionada con el control de la contaminación hídrica, aplicable a establecimientos industriales y comerciales.* Instituto Nacional del Agua (INA). Argentina.

ANEXO TABLAS

Tabla 23: Parámetros de suelo obtenidos en laboratorio.

Pozo	VS 50 cm (cm ³ %g)	VS 100 cm (cm ³ %g)	CE 50 (us cm ⁻¹)	CE 100 (us cm ⁻¹)	RAS 50 cm (%)	RAS 100 cm (%)	pH 50 cm	pH 100 cm
1	112.00	100.00	1444.00	828.00	1.22	0.77	7.03	7.21
2	92.00	96.00	2580.00	5210.00	2.35	3.19	7.12	6.98
3	98.00	108.00	1402.00	2360.00	1.19	2.08	7.44	7.38
4	100.00	92.00	2010.00	4470.00	1.39	5.59	7.35	7.32
5	92.00	92.00	492.00	2080.00	0.39	2.51	7.61	7.19
6	86.00	92.00	5060.00	5400.00	3.47	3.61	7.28	7.25
7	82.00	84.00	884.00	2730.00	0.63	1.76	7.72	7.29
8	80.00	88.00	4550.00	6990.00	2.85	4.97	7.20	6.90
9	76.00	86.00	1936.00	2050.00	2.15	1.61	7.36	7.32
10	84.00	76.00	1974.00	3120.00	1.91	1.81	7.35	7.40
11	84.00	86.00	221.00	242.00	0.15	0.14	7.75	7.90
12	98.00	84.00	3560.00	5140.00	3.23	5.95	7.50	7.55
13	92.00	98.00	519.00	3200.00	0.15	1.78	7.67	7.44
14	92.00	88.00	33900.00	13710.00	21.39	16.04	6.91	7.22

Tabla 24: Necesidades netas y brutas de riego mensuales para una oferta de 800 m³ día⁻¹ de efluentes.

Mes	Alfalfa					Verdeo de invierno				
	Nn (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Días mes ⁻¹	Nn (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Eficiencia	Nb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Nn (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Días mes ⁻¹	Nn (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Eficiencia	Nb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)
Enero	59.59	31	1847.29	0.52	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Febrero	51.51	28	1442.28	0.45	3200.00	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Marzo	38.22	31	1184.82	0.52	2300.49	11.70	15	175.50	0.63	280.53
Abril	10.80	30	324.00	0.25	1296.00	9.45	30	283.50	0.28	995.20
Mayo	7.60	31	235.60	0.46	517.03	11.97	31	371.07	0.26	1412.05
Junio	7.20	30	216.00	0.48	453.55	14.10	30	423.00	0.30	1388.34
Julio	10.71	31	332.01	0.45	732.45	20.23	31	627.13	0.48	1311.52
Agosto	17.94	31	556.14	0.80	695.18	24.15	31	748.65	0.56	1328.92
Septiem.	31.02	30	930.60	0.57	1628.32	15.84	15	237.60	0.57	420.06
Octubre	45.45	31	1408.95	0.40	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Noviem.	55.55	30	1666.50	0.49	3428.57	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Diciembre	60.60	31	1878.60	0.53	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Promedio				0.50					0.50	
Total	396.19		12022.79		24880.16	107.44		2866.45		7136.63

Tabla 25: Necesidades netas y brutas de riego mensuales para una oferta de 1600 m³ día⁻¹ de efluentes.

Mes	Alfalfa					Verdeo de invierno				
	Nn (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Días mes ⁻¹	Nn (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Eficiencia	Nb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Nn (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Días mes ⁻¹	Nn (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Eficiencia	Nb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)
Enero	59.59	31	1847.29	0.52	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Febrero	51.51	28	1442.28	0.45	3200.00	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Marzo	38.22	31	1184.82	0.52	2300.49	11.70	15	175.50	0.63	280.53
Abril	10.80	30	324.00	0.25	1296.00	9.45	30	283.50	0.28	995.20
Mayo	7.60	31	235.60	0.46	517.03	11.97	31	371.07	0.26	1412.05
Junio	7.20	30	216.00	0.58	369.24	14.10	30	423.00	0.30	1427.69
Julio	10.71	31	332.01	0.45	732.44	20.23	31	627.13	0.48	1311.53
Agosto	17.94	31	556.14	0.80	695.18	24.15	31	748.65	0.56	1328.92
Septiem.	31.02	30	930.60	0.57	1632.28	15.84	15	237.60	0.57	419.14
Octubre	45.45	31	1408.95	0.40	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Noviem.	55.55	30	1666.50	0.49	3428.57	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Diciembre	60.60	31	1878.60	0.53	3542.86	0.00	0	0.00	0.50	0.00
Promedio				0.50					0.50	
Total	396.19		12022.79		24799.80	107.44		2866.45		7175.06

Tabla 26: Cálculo de hectáreas de Alfalfa y verdeo de invierno para consumir los 800 m³ día⁻¹ de efluentes.

Mes	Alfalfa			Verdeo de Invierno			Consumo de ambos cultivos (m ³ día ⁻¹)
	Nb (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Hectáreas	Consumo (m ³ día ⁻¹)	Nb (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Hectáreas	Consumo (m ³ día ⁻¹)	
Enero	114.29	7.00	800.00	0.00	15.00	0.00	800.00
Febrero	114.29	7.00	800.00	0.00	15.00	0.00	800.00
Marzo	74.75	7.00	523.28	18.45	15.00	276.72	800.00
Abril	33.29	7.00	233.00	37.80	15.00	567.00	800.00
Mayo	19.82	7.00	138.74	44.08	15.00	661.26	800.00
Junio	15.12	7.00	105.83	46.28	15.00	694.17	800.00
Julio	26.64	7.00	186.49	40.90	15.00	613.51	800.00
Agosto	22.43	7.00	156.98	42.87	15.00	643.02	800.00
Septiembre	54.01	7.00	378.09	28.13	15.00	421.91	800.00
Octubre	114.29	7.00	800.00	0.00	15.00	0.00	800.00
Noviembre	114.29	7.00	800.00	0.00	15.00	0.00	800.00
Diciembre	114.29	7.00	800.00	0.00	15.00	0.00	800.00

Tabla 27: Cálculo de hectáreas de Alfalfa y verdeo de invierno para consumir los 1600 m³ día⁻¹ de efluentes.

Mes	Alfalfa			Verdeo de Invierno			Consumo de ambos cultivos (m ³ día ⁻¹)
	Nb (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Hectáreas	Consumo (m ³ día ⁻¹)	Nb (m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹)	Hectáreas	Consumo (m ³ día ⁻¹)	
Enero	114.29	14.00	1600.00	0.00	30.00	0.00	1600.00
Febrero	114.29	14.00	1600.00	0.00	30.00	0.00	1600.00
Marzo	74.21	14.00	1038.93	18.70	30.00	561.07	1600.00
Abril	43.20	14.00	604.80	33.17	30.00	995.20	1600.00
Mayo	16.68	14.00	233.50	45.55	30.00	1366.50	1600.00
Junio	12.31	14.00	172.31	47.59	30.00	1427.69	1600.00
Julio	23.63	14.00	330.78	42.31	30.00	1269.22	1600.00
Agosto	22.43	14.00	313.95	42.87	30.00	1286.05	1600.00
Septiembre	54.41	14.00	761.73	27.94	30.00	838.27	1600.00
Octubre	114.29	14.00	1600.00	0.00	30.00	0.00	1600.00
Noviembre	114.29	14.00	1600.00	0.00	30.00	0.00	1600.00
Diciembre	114.29	14.00	1600.00	0.00	30.00	0.00	1600.00

ANEXO SIMULACIÓN CALENDARIO DE RIEGO (CROPWAT 8.0)

ETO MEDIDA MENSUAL DATOS

(Archivo: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Chacras de coria.PMM)

Estación: Chacras de Coria 50

	ETo mm/día
Enero	5.9
Febrero	5.1
Marzo	3.9
Abril	2.7
Mayo	1.9
Junio	1.5
Julio	1.7
Agosto	2.3
Septiembre	3.3
Octubre	4.5
Noviembre	5.5
Diciembre	6.0
Promedio	3.7

PRECIPITACIÓN MENSUAL DATOS

(Archivo: C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\chacras de coria.CRM)

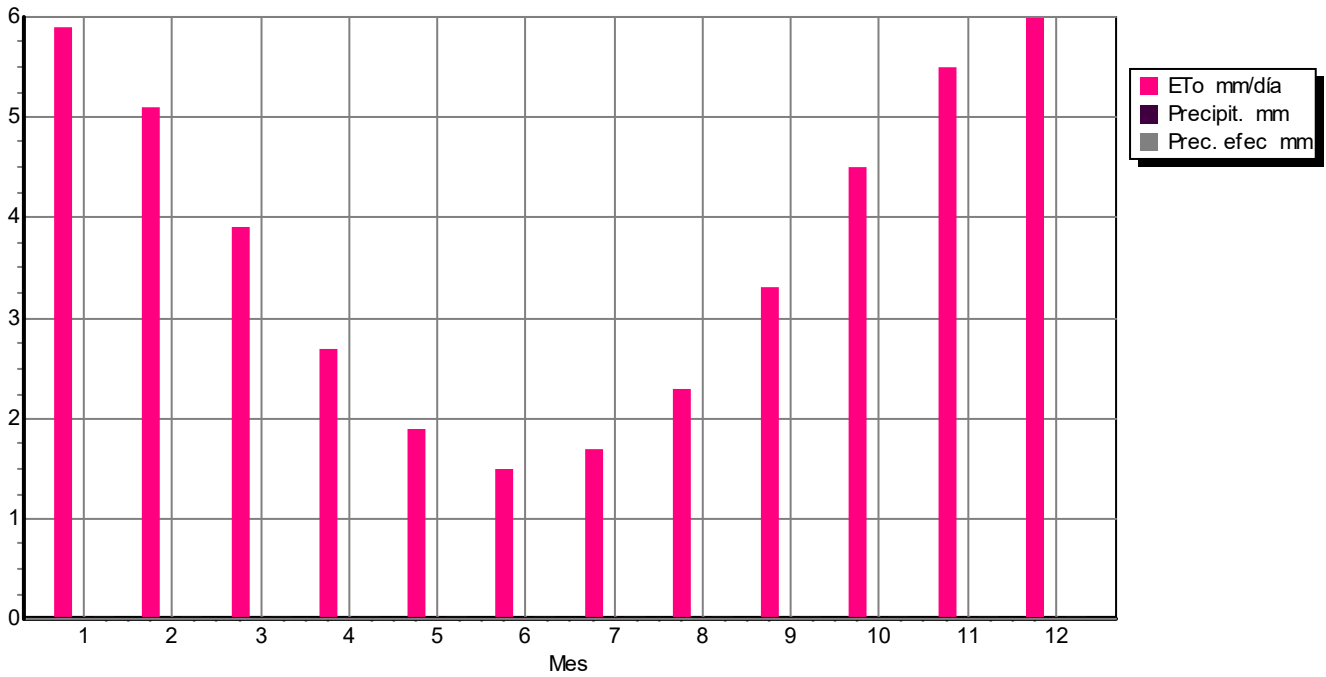
Estación: Chacras de coria

Método Prec. Ef: USDA Servicio de Conservacion de Suelo:

$$\begin{aligned} P_{ef} &= P_{mes} * (125 - 0.2 * P_{mes}) / 125 && \text{para } P_{mes} \leq 250 \text{ mm} \\ P_{ef} &= 125 + 0.1 * P_{mes} && \text{para } P_{mes} > 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	0.0	0.0
Febrero	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0
Abril	0.0	0.0
Mayo	0.0	0.0
Junio	0.0	0.0
Julio	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0
Septiembre	0.0	0.0
Octubre	0.0	0.0
Noviembre	0.0	0.0
Diciembre	0.0	0.0
Total	0.0	0.0

GRÁF. CLIMA/ETO/PRECIPIT.



CULTIVO DATOS

(Archivo: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\Alfalfa_ACRE.CRO)

Nombre del Cult.:	Alfalfa_ACRE	Siembra:	01/04	Cosecha:	31/03
Etapa	inicial	desarro	med	fin	total
Longitud (días)	61	122	140	42	365
Kc Valores	0.40	-->	0.95	0.90	
Prof. radicular (m)	1.50	-->	1.50	1.50	
Agotam.critico	0.71	-->	0.53	0.57	
F. respuesta rend.	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Altura de cult. (m)			0.60		

SUELO DATOS

(Archivo: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\norte_franco.SOI)

Nombre del suelo: Zonal

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PM)	30.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precip	20	mm/día
Profundidad radicular máxima	150	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (co	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	30.0	mm/metro

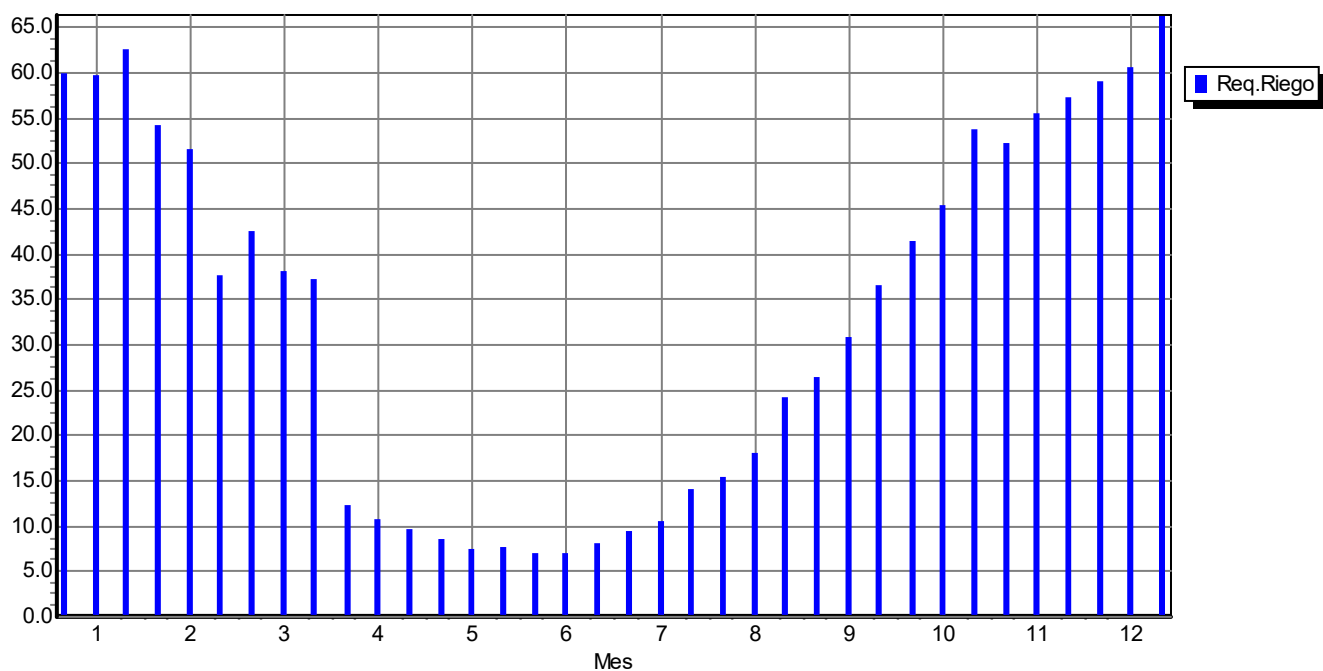
REQUERIM. DE AGUA DEL CULTIVO

Estación ETo: Chacras de Coria 50
 Est. de lluvia: Chacras de coria

Cultivo: Alfalfa_ACRE
 Fecha de siembra: 01/04

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Abr	1	Inic	0.40	1.24	12.4	0.0	12.4
Abr	2	Inic	0.40	1.08	10.8	0.0	10.8
Abr	3	Inic	0.40	0.97	9.7	0.0	9.7
May	1	Inic	0.40	0.87	8.7	0.0	8.7
May	2	Inic	0.40	0.76	7.6	0.0	7.6
May	3	Inic	0.40	0.71	7.8	0.0	7.8
Jun	1	Des	0.43	0.70	7.0	0.0	7.0
Jun	2	Des	0.48	0.72	7.2	0.0	7.2
Jun	3	Des	0.53	0.83	8.3	0.0	8.3
Jul	1	Des	0.58	0.94	9.4	0.0	9.4
Jul	2	Des	0.63	1.07	10.7	0.0	10.7
Jul	3	Des	0.68	1.29	14.2	0.0	14.2
Ago	1	Des	0.73	1.54	15.4	0.0	15.4
Ago	2	Des	0.78	1.80	18.0	0.0	18.0
Ago	3	Des	0.84	2.20	24.2	0.0	24.2
Sep	1	Des	0.89	2.64	26.4	0.0	26.4
Sep	2	Des	0.94	3.10	31.0	0.0	31.0
Sep	3	Des	0.99	3.66	36.6	0.0	36.6
Oct	1	Med	1.01	4.15	41.5	0.0	41.5
Oct	2	Med	1.01	4.55	45.5	0.0	45.5
Oct	3	Med	1.01	4.89	53.8	0.0	53.8
Nov	1	Med	1.01	5.23	52.3	0.0	52.3
Nov	2	Med	1.01	5.56	55.6	0.0	55.6
Nov	3	Med	1.01	5.73	57.3	0.0	57.3
Dic	1	Med	1.01	5.90	59.0	0.0	59.0
Dic	2	Med	1.01	6.07	60.7	0.0	60.7
Dic	3	Med	1.01	6.04	66.4	0.0	66.4
Ene	1	Med	1.01	6.00	60.0	0.0	60.0
Ene	2	Med	1.01	5.97	59.7	0.0	59.7
Ene	3	Med	1.01	5.70	62.7	0.0	62.7
Feb	1	Med	1.01	5.43	54.3	0.0	54.3
Feb	2	Fin	1.01	5.16	51.6	0.0	51.6
Feb	3	Fin	1.00	4.71	37.7	0.0	37.7
Mar	1	Fin	0.99	4.27	42.7	0.0	42.7
Mar	2	Fin	0.98	3.82	38.2	0.0	38.2
Mar	3	Fin	0.97	3.39	37.3	0.0	37.3
					1201.6	0.0	1201.6

GRÁFICO DE REQUER. DE AGUA DE CULT.



PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: Chacras de Cori Cultivo: Alfalfa_ACRE Siembra: 01/04
 Est. de lluvia: Chacras de co Suelo: Zonal Cosecha: 31/03

Red. Rend.: 0.0 %

Crop scheduling options

Momento: Regar a 100 % agotamiento
 Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo
 Ef. campo 50 %

Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Etap	Precipi mm	Ks fracc.	ETA %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
29 Abr	29	Ini	0.0	1.00	100	71	32.0	0.0	0.0	63.9	0.26
10 Jun	71	Des	0.0	1.00	100	71	32.0	0.0	0.0	64.0	0.18
14 Jul	105	Des	0.0	1.00	100	65	29.1	0.0	0.0	58.3	0.20
5 Ago	127	Des	0.0	1.00	100	63	28.3	0.0	0.0	56.7	0.30
21 Ago	143	Des	0.0	1.00	100	62	27.9	0.0	0.0	55.9	0.40
2 Sep	155	Des	0.0	1.00	100	61	27.3	0.0	0.0	54.6	0.53
12 Sep	165	Des	0.0	1.00	100	61	27.3	0.0	0.0	54.6	0.63
20 Sep	173	Des	0.0	1.00	100	55	24.8	0.0	0.0	49.6	0.72
27 Sep	180	Des	0.0	1.00	100	57	25.6	0.0	0.0	51.2	0.85
4 Oct	187	Med	0.0	1.00	100	61	27.6	0.0	0.0	55.1	0.91
10 Oct	193	Med	0.0	1.00	100	55	24.9	0.0	0.0	49.8	0.96
16 Oct	199	Med	0.0	1.00	100	61	27.3	0.0	0.0	54.6	1.05
22 Oct	205	Med	0.0	1.00	100	62	28.0	0.0	0.0	56.0	1.08
27 Oct	210	Med	0.0	1.00	100	54	24.4	0.0	0.0	48.9	1.13
1 Nov	215	Med	0.0	1.00	100	55	24.8	0.0	0.0	49.6	1.15
6 Nov	220	Med	0.0	1.00	100	58	26.1	0.0	0.0	52.3	1.21
11 Nov	225	Med	0.0	1.00	100	59	26.5	0.0	0.0	52.9	1.23
16 Nov	230	Med	0.0	1.00	100	62	27.8	0.0	0.0	55.6	1.29
21 Nov	235	Med	0.0	1.00	100	62	28.0	0.0	0.0	56.0	1.30
26 Nov	240	Med	0.0	1.00	100	64	28.7	0.0	0.0	57.3	1.33
1 Dic	245	Med	0.0	1.00	100	64	28.8	0.0	0.0	57.7	1.33

6 Dic	250	Med	0.0	1.00	100	66	29.5	0.0	0.0	59.0	1.37
11 Dic	255	Med	0.0	1.00	100	66	29.7	0.0	0.0	59.4	1.37
15 Dic	259	Med	0.0	1.00	100	54	24.3	0.0	0.0	48.6	1.41
19 Dic	263	Med	0.0	1.00	100	54	24.3	0.0	0.0	48.6	1.41
23 Dic	267	Med	0.0	1.00	100	54	24.2	0.0	0.0	48.4	1.40
27 Dic	271	Med	0.0	1.00	100	54	24.1	0.0	0.0	48.3	1.40
31 Dic	275	Med	0.0	1.00	100	54	24.1	0.0	0.0	48.3	1.40
4 Ene	279	Med	0.0	1.00	100	53	24.0	0.0	0.0	48.0	1.39
8 Ene	283	Med	0.0	1.00	100	53	24.0	0.0	0.0	48.0	1.39
12 Ene	287	Med	0.0	1.00	100	53	23.9	0.0	0.0	47.9	1.39
16 Ene	291	Med	0.0	1.00	100	53	23.9	0.0	0.0	47.8	1.38
20 Ene	295	Med	0.0	1.00	100	53	23.9	0.0	0.0	47.8	1.38
25 Ene	300	Med	0.0	1.00	100	63	28.5	0.0	0.0	57.0	1.32
30 Ene	305	Med	0.0	1.00	100	63	28.5	0.0	0.0	57.0	1.32
4 Feb	310	Med	0.0	1.00	100	61	27.4	0.0	0.0	54.8	1.27
9 Feb	315	Med	0.0	1.00	100	60	27.1	0.0	0.0	54.3	1.26
14 Feb	320	Med	0.0	1.00	100	58	26.1	0.0	0.0	52.1	1.21
19 Feb	325	Fin	0.0	1.00	100	57	25.8	0.0	0.0	51.6	1.19
25 Feb	331	Fin	0.0	1.00	100	64	28.7	0.0	0.0	57.4	1.11
3 Mar	337	Fin	0.0	1.00	100	60	26.9	0.0	0.0	53.9	1.04
9 Mar	343	Fin	0.0	1.00	100	57	25.6	0.0	0.0	51.2	0.99
16 Mar	350	Fin	0.0	1.00	100	60	27.2	0.0	0.0	54.4	0.90
23 Mar	357	Fin	0.0	1.00	100	57	25.5	0.0	0.0	50.9	0.84
31 Mar	Fin	Fin	0.0	1.00	0	53					

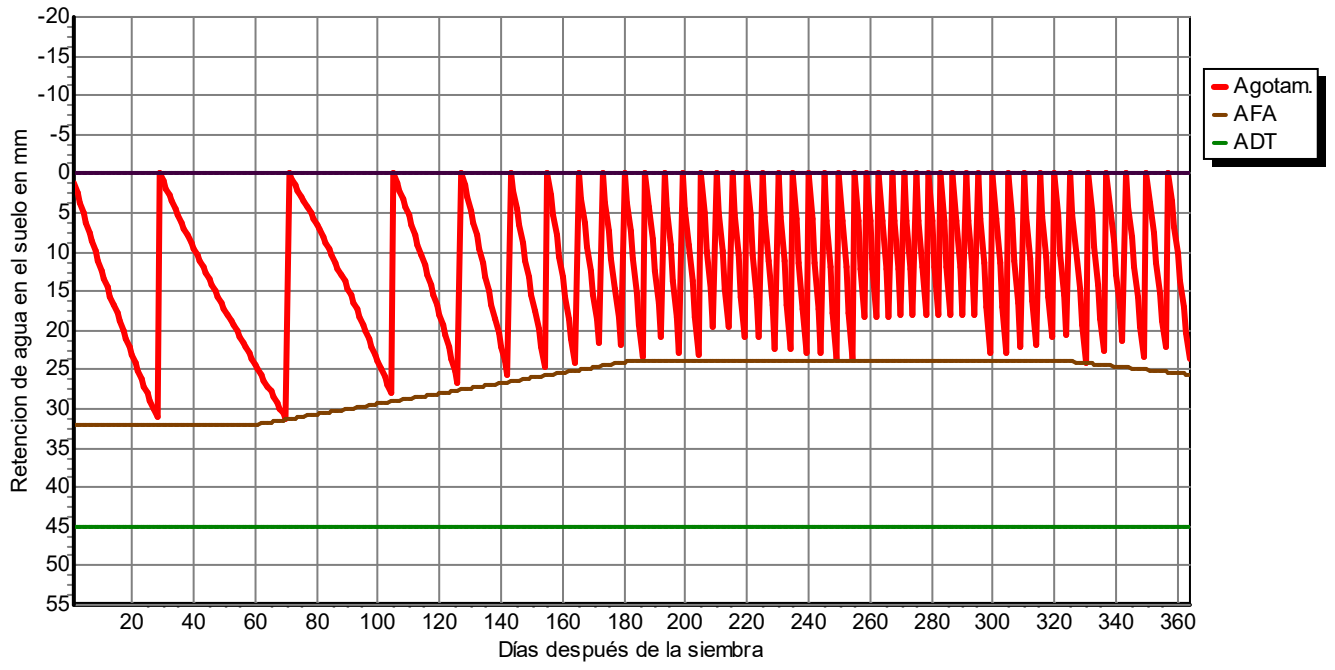
Totales:

Lámina bruta total	2349.0	mm	Precipitación total	0.0	mm
Lámina neta total	1174.5	mm	Precipitación Efectiva	0.0	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	0.0	mm
Uso real de agua del cultivo	1198.2	mm	Def. de hum. en cosecha	23.7	mm
Uso pot. de agua del cultivo	1198.2	mm	Requer. reales de riego	1198.	mm
Efic. de programación de riego	100.0	%	Efic. de precipitación	-	%
Deficiencia de programación de	0.0	%			

Reducción de rendimiento:

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %

GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO



SUELO DATOS

(Archivo: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\cs_francoarenoso.SOI)

Nombre del suelo: Zona2

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PM	72.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precip	20	mm/día
Profundidad radicular máxima	150	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (co	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	72.0	mm/metro

PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: Chacras de Cori Cultivo: Alfalfa_ACRE Siembra: 01/04
 Est. de lluvia: chcaras 0 Suelo: Zona2 Cosecha: 31/03

Red. Rend.: 0.0 %

Crop scheduling options

Momento: Regar a 100 % agotamiento
 Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo
 Ef. campo 50 %

Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Etap	Precipi mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
23 Jun	84	Des	0.0	1.00	100	68	73.6	0.0	0.0	147.2	0.20
16 Ago	138	Des	0.0	1.00	100	61	66.3	0.0	0.0	132.7	0.28
11 Sep	164	Des	0.0	1.00	100	56	60.9	0.0	0.0	121.8	0.54
29 Sep	182	Des	0.0	1.00	100	56	60.8	0.0	0.0	121.7	0.78
13 Oct	196	Med	0.0	1.00	100	54	58.8	0.0	0.0	117.6	0.97
26 Oct	209	Med	0.0	1.00	100	57	61.2	0.0	0.0	122.4	1.09
7 Nov	221	Med	0.0	1.00	100	57	61.0	0.0	0.0	122.1	1.18
18 Nov	232	Med	0.0	1.00	100	56	60.2	0.0	0.0	120.4	1.27
29 Nov	243	Med	0.0	1.00	100	58	62.7	0.0	0.0	125.5	1.32
9 Dic	253	Med	0.0	1.00	100	54	58.8	0.0	0.0	117.7	1.36
19 Dic	263	Med	0.0	1.00	100	56	60.5	0.0	0.0	121.1	1.40
29 Dic	273	Med	0.0	1.00	100	56	60.4	0.0	0.0	120.8	1.40
8 Ene	283	Med	0.0	1.00	100	56	60.1	0.0	0.0	120.2	1.39
18 Ene	293	Med	0.0	1.00	100	55	59.8	0.0	0.0	119.5	1.38
28 Ene	303	Med	0.0	1.00	100	53	57.5	0.0	0.0	115.1	1.33
8 Feb	314	Med	0.0	1.00	100	56	60.5	0.0	0.0	121.1	1.27
20 Feb	326	Fin	0.0	1.00	100	58	62.4	0.0	0.0	124.8	1.20
5 Mar	339	Fin	0.0	1.00	100	55	59.0	0.0	0.0	118.1	1.05
21 Mar	355	Fin	0.0	1.00	100	58	62.9	0.0	0.0	125.9	0.91
31 Mar	Fin	Fin	0.0	1.00	0	28					

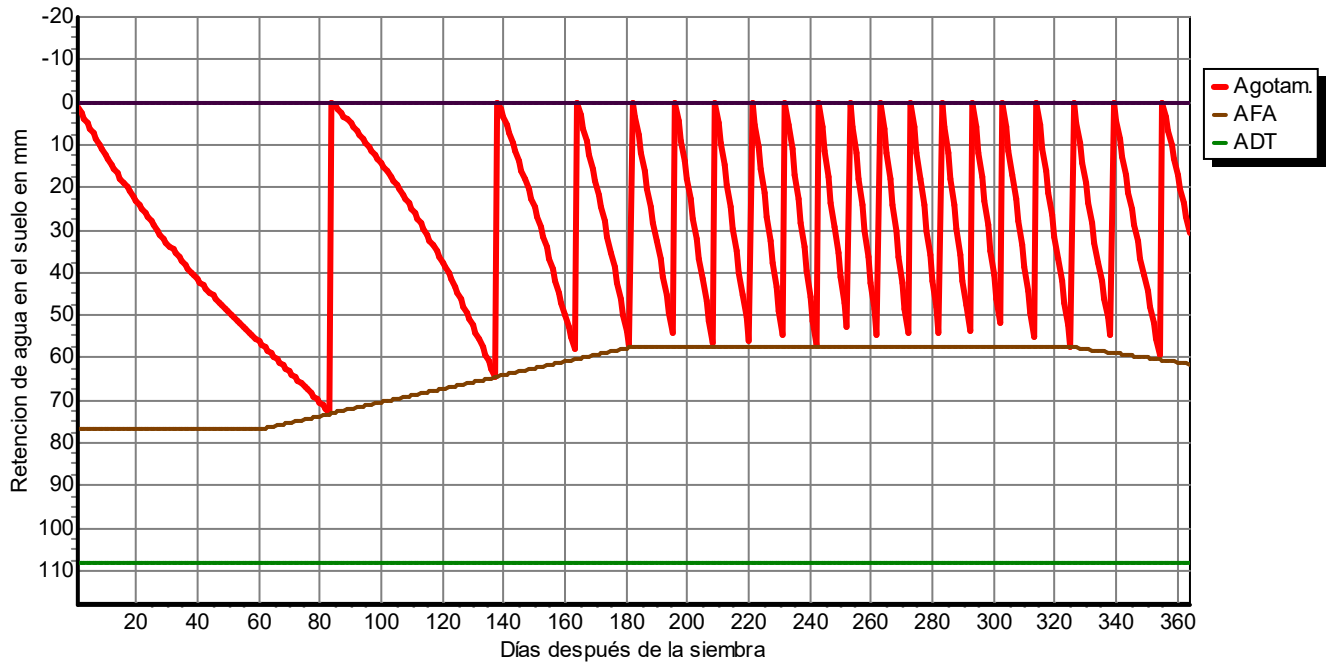
Totales:

Lámina bruta total	2335.5 mm	Precipitación total	0.0 mm
Lámina neta total	1167.7 mm	Precipitación Efectiva	0.0 mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	0.0 mm
Uso real de agua del cultivo	1198.2 mm	Def. de hum. en cosecha	30.5 mm
Uso pot. de agua del cultivo	1198.2 mm	Requer. reales de riego	1198. mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	- %
Deficiencia de programación de	0.0 %		

Reducción de rendimiento:

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	%

GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO



CULTIVO DATOS

(Archivo: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\Avena_ACRE.CRO)

Nombre del Cult.: Verdeo_chacrascoria Siembra: 15/03 Cosecha: 11/09

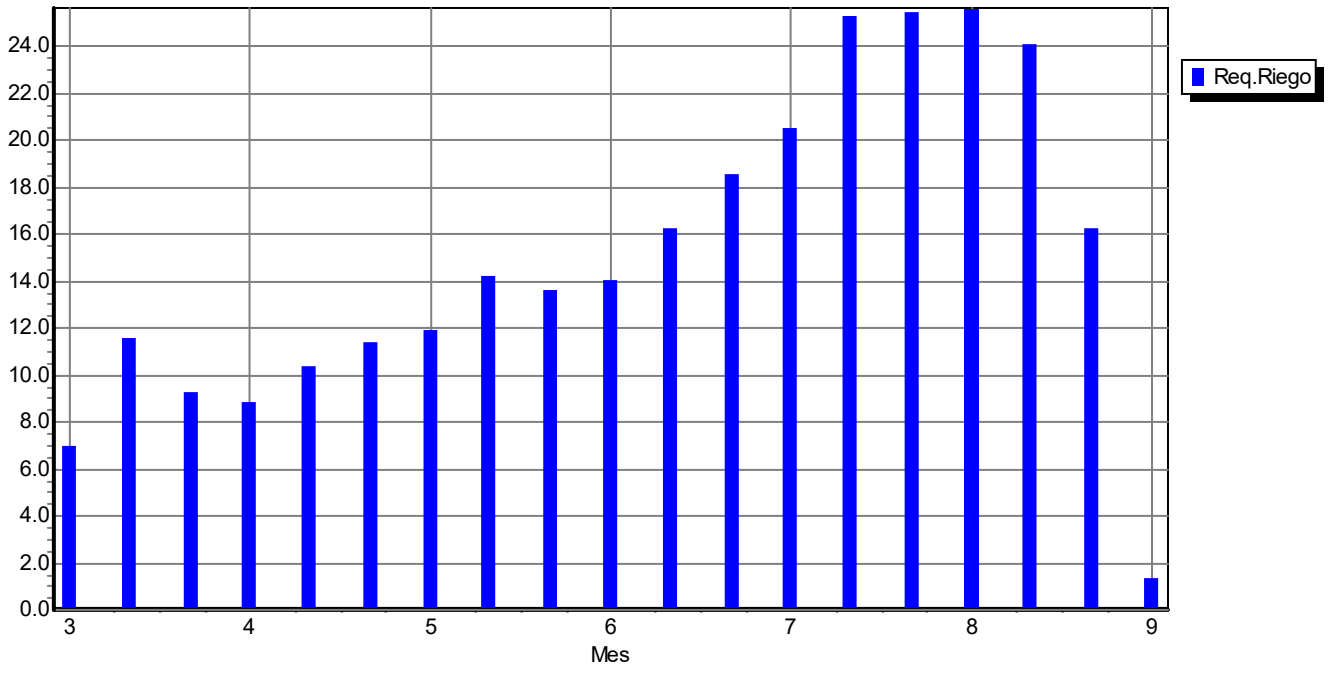
Etapa	inicial	desarro	med	fin	total
Longitud (días)	30	91	30	30	181
Kc Valores	0.30	-->	1.15	0.40	
Prof. radicular (m)	1.00	-->	1.00	1.00	
Agotam.critico	0.70	-->	0.66	0.67	
F. respuesta rend.	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Altura de cult. (m)			0.60		

REQUERIM. DE AGUA DEL CULTIVO

Estación ETo: Chacras de Coria 50 Cultivo: Avena_chacrascoria
 Est. de lluvia: Chacras de coria Fecha de siembra: 15/03

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Mar	2	Inic	0.30	1.17	7.0	0.0	7.0
Mar	3	Inic	0.30	1.05	11.6	0.0	11.6
Abr	1	Inic	0.30	0.93	9.3	0.0	9.3
Abr	2	Des	0.33	0.89	8.9	0.0	8.9
Abr	3	Des	0.43	1.03	10.3	0.0	10.3
May	1	Des	0.53	1.14	11.4	0.0	11.4
May	2	Des	0.63	1.19	11.9	0.0	11.9
May	3	Des	0.73	1.29	14.2	0.0	14.2
Jun	1	Des	0.84	1.37	13.7	0.0	13.7
Jun	2	Des	0.94	1.40	14.0	0.0	14.0
Jun	3	Des	1.04	1.62	16.2	0.0	16.2
Jul	1	Des	1.14	1.86	18.6	0.0	18.6
Jul	2	Med	1.21	2.05	20.5	0.0	20.5
Jul	3	Med	1.21	2.30	25.3	0.0	25.3
Ago	1	Med	1.21	2.54	25.4	0.0	25.4
Ago	2	Fin	1.11	2.56	25.6	0.0	25.6
Ago	3	Fin	0.83	2.19	24.1	0.0	24.1
Sep	1	Fin	0.55	1.63	16.3	0.0	16.3
Sep	2	Fin	0.40	1.32	1.3	0.0	1.3
					285.7	0.0	285.7

GRÁFICO DE REQUER. DE AGUA DE CULT.



PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: Chacras de Cori Cultivo: Avena_chacrascoria Siembra: 15/03
 Est. de lluvia: Chacras de co Suelo: Norte-franco Cosecha: 11/09

Red. Rend.: 0.0 %

Crop scheduling options

Momento: Regar a 100 % agotamiento
 Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo
 Ef. campo 50 %

Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Etapa	Precipi mm	Ks fracc.	ETA %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
3 Abr	20	Ini	0.0	1.00	100	71	21.4	0.0	0.0	42.7	0.25
26 Abr	43	Des	0.0	1.00	100	72	21.6	0.0	0.0	43.2	0.22
15 May	62	Des	0.0	1.00	100	72	21.5	0.0	0.0	42.9	0.26
1 Jun	79	Des	0.0	1.00	100	72	21.5	0.0	0.0	43.0	0.29
16 Jun	94	Des	0.0	1.00	100	69	20.7	0.0	0.0	41.4	0.32
29 Jun	107	Des	0.0	1.00	100	67	20.2	0.0	0.0	40.5	0.36
10 Jul	118	Des	0.0	1.00	100	67	20.2	0.0	0.0	40.4	0.42
20 Jul	128	Med	0.0	1.00	100	68	20.5	0.0	0.0	41.1	0.48
29 Jul	137	Med	0.0	1.00	100	69	20.7	0.0	0.0	41.4	0.53
6 Ago	145	Med	0.0	1.00	100	66	19.9	0.0	0.0	39.7	0.57
14 Ago	153	Fin	0.0	1.00	100	68	20.4	0.0	0.0	40.9	0.59
23 Ago	162	Fin	0.0	1.00	100	73	22.0	0.0	0.0	43.9	0.56
2 Sep	172	Fin	0.0	1.00	100	69	20.8	0.0	0.0	41.6	0.48
11 Sep	Fin	Fin	0.0	1.00	100	43					

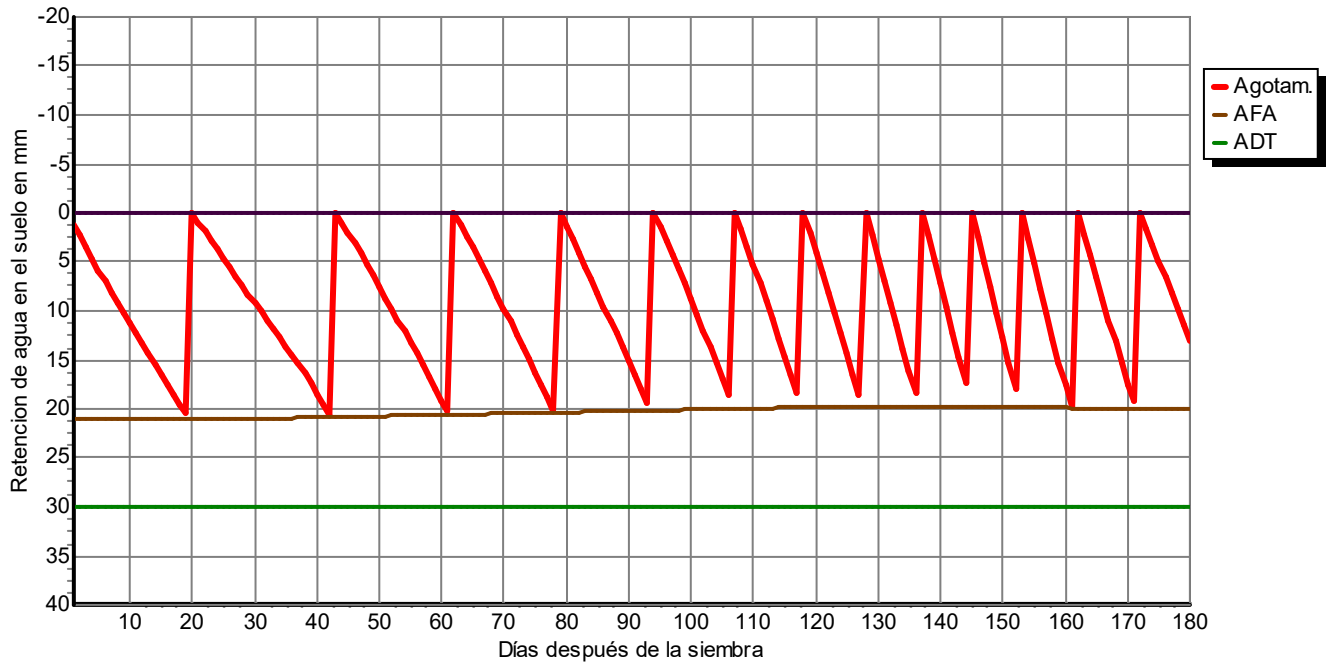
Totales:

Lámina bruta total	542.8 mm	Precipitación total	0.0 mm
Lámina neta total	271.4 mm	Precipitación Efectiva	0.0 mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	0.0 mm
Uso real de agua del cultivo	284.4 mm	Def. de hum. en cosecha	13.0 mm
Uso pot. de agua del cultivo	284.4 mm	Requer. reales de riego	284.4 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	- %
Deficiencia de programación de	0.0 %		

Reducción de rendimiento:

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	%

GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO



PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: Chacras de Cori Cultivo: Verdeo_chacrascori Siembra: 15/03
 Est. de lluvia: Chacras de co Suelo: Zona2 Cosecha: 11/09

Red. Rend.: 0.0 %

Crop scheduling options

Momento: Regar a 100 % agotamiento
 Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo
 Ef. campo 50 %

Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Etapa	Precipi mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
3 May	50	Des	0.0	1.00	100	70	50.5	0.0	0.0	101.0	0.23
11 Jun	89	Des	0.0	1.00	100	68	49.1	0.0	0.0	98.2	0.29
11 Jul	119	Des	0.0	1.00	100	69	49.5	0.0	0.0	99.0	0.38
2 Ago	141	Med	0.0	1.00	100	68	48.9	0.0	0.0	97.8	0.51
21 Ago	160	Fin	0.0	1.00	100	67	48.2	0.0	0.0	96.4	0.59
11 Sep	Fin	Fin	0.0	1.00	100	53					

Totales:

Lámina bruta total	492.4 mm	Precipitación total	0.0 mm
Lámina neta total	246.2 mm	Precipitación Efectiva	0.0 mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	0.0 mm
Uso real de agua del cultivo	284.4 mm	Def. de hum. en cosecha	38.2 mm
Uso pot. de agua del cultivo	284.4 mm	Requer. reales de riego	284.4 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	- %
Deficiencia de programación de	0.0 %		

Reducción de rendimiento:

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	%

GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO

