



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRIA EN RIEGO Y DRENAJE

COMPORTAMIENTO DE NIVELES FREÁTICOS Y
EFECTO DE SU VARIACIÓN ESTACIONAL SOBRE
EL DESARROLLO Y MANEJO AGRONÓMICO DE
CEREZOS (*Prunus avium* L.)

Ing. Agr. María Lucía Mañueco

Diciembre 2020

Director:

Dra. Ing. Agr. María Dolores Raffo

Codirector:

Lic. Economía MSc. María Fernanda Menni

Comité Asesor

Ing. Agr. Juan Galeazzi

Lic. Ayelen Montenegro

Tec. Ángel Muñoz

Ing. Agr. MSc. Gonzalo Ortiz Maldonado

Acta de tesis

2020
AÑO DEL CENTENARIO MAESTRO
BEGUENZI

ACTA DE TESIS

-----En **MENDOZA**, en la sede de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**, siendo las **NUEVE (09:00) HORAS** del día **DIECISIETE (17)** de **DICIEMBRE** del año **DOS MIL VEINTE (2020)**, se reúne el Jurado a través de video conferencia, integrado por los siguientes profesionales: **Dr. Ing. Agr. Jorge A. PRIETO (INTA)**; **M. Sc. Ing. Agr. Carlos E. SCHILARDI (FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO)** y la **M. Sc. Ing. Agr. Lidia PODESTÁ (FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO)**, quien es designada presidente del Jurado, encargado de evaluar el trabajo de tesis y la exposición oral y pública que sobre el tema: **"Comportamiento de niveles freáticos y efecto de su variación estacional sobre el desarrollo y manejo agronómico de Cerezos (*Prunus avium L.*)"**, desarrolló la **Ing. Agr. María Lucía MAÑUECO, D.N.I. 29.547.867**, para acceder al grado académico de **MAGÍSTER EN RIEGO Y DRENAJE**.-----

-----Asiste también la Directora de Tesis **Dra. Ing. Agr. María Dolores RAFFO** y la Codirectora **M. Sc. Lic. Econ. María Fernanda MENNI**, quienes tendrán voz pero no voto (Punto V.4.2, ANEXO I, del Reglamento de Carreras de Especialización, Maestría y Doctorado, Modalidad Estructurada, aprobado por Ord. 49/03-C.S.).-----

-----Luego de haber analizado los antecedentes y escuchado la exposición de la **Ing. Agr. María Lucía MAÑUECO**, se concluye: tanto la versión escrita como la exposición oral, merecen la aprobación por parte de este Jurado, por unanimidad.-----


-----El contenido del manuscrito refleja una adecuada revisión bibliográfica y presenta un correcto orden y redacción, mereciendo nuestra opinión de **ALTAMENTE FAVORABLE**.-----


-----La **Ing. Agr. María Lucía MAÑUECO** realizó un estudio abarcativo de la temática planteada, desde lo regional a lo parcelario. Los objetivos establecidos resultaron pertinentes y la metodología empleada fue correcta, abarcando diferentes herramientas de análisis informático e instrumental de campo. Los resultados obtenidos permitieron generar recomendaciones prácticas de mejoras sostenibles a la problemática bajo estudio.-----


-----Durante su exposición, demostró un claro conocimiento del tema en estudio y de su importancia regional. La tesista respondió con solvencia y satisfactoriamente a las preguntas formuladas.-----

-----Sobre la base de lo anteriormente expuesto, este Jurado dictamina que la tesista merece la calificación de: **"DISTINGUIDO"**.-----

-----Siendo las **ONCE (11:00) HORAS** se da por terminado el acto. Se deja expresa constancia que la presente resulta elaborada por el Jurado actuante, debiendo remitirse vía digital a todos los participantes de este acto, una vez firmada por la autoridad institucional responsable, en este caso el Sr. Secretario de Investigación, Internacionales y Posgrado de la FCA, **Dr. Ing. Agr. Rodrigo J. LÓPEZ PLANTEY**, quien presta fe, en el lugar y fecha *ut-supra*. Oportunamente los Jurados participantes, juntamente con la Directora y la Codirectora de Tesis, suscribirán el formato papel cuando concluya la situación de emergencia sanitaria y puedan reiniciarse con normalidad las actividades presenciales en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.-----


Dr. Ing. Agr. Rodrigo LÓPEZ PLANTEY
 Secretario de Investigación
 Internacionales y Posgrado
 Fac. Cs. Agrarias - UNCuyo


UNCUYO
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DE CUYO


**FACULTAD DE
 CIENCIAS
 AGRARIAS**

**SECRETARÍA DE
 INVESTIGACIÓN
 INTERNACIONALES Y
 POSGRADO**

17 DIC 2020

Dedicatoria

A Fabri, Cami y Oli.

A toda mi familia.

A toda mi familia de INTA.

Agradecimientos

Esta tesis es el fruto de un extenso, intenso y profundo período formativo que me tomó un largo tiempo y que podría suponerse un logro individual, pero que sin embargo resultó ser un camino a través del cual conté con el apoyo, la ayuda, la guía, la escucha y el amor de muchísimas personas. Lo dije muchas veces: nunca nada me costó tanto y esto es para mí un logro profesional y académico, pero también un proceso de crecimiento personal.

Quiero agradecer, en primer lugar, a Fabri, Cami y Oli, por la paciencia infinita y la enorme capacidad de aguantar con amor mis ausencias físicas y mentales. A mi familia, a toda, la de la sangre, la del corazón y la del INTA, un montón de personas que sostuvieron y alentaron este proceso y a las que esta conquista hace felices y pone orgullosas.

A Dolo, mi directora de tesis, que cree en mí desde hace un millón de años y confió en cada una de mis ideas, me acompañó a pasar calor tomando datos, se metió conmigo al mundo del agua y me siguió acompañando hasta que logramos hacer que esto vea la luz. A Fer, mi codirectora, por sacarme de un profundo pozo de enmarañada confusión y sentarse conmigo a escribir una palabra atrás de la otra para que mis ideas tuvieran sentido. A Juan Galeazzi, que generosamente me guió en las cuestiones técnicas del riego y el drenaje y me ayudó a resolverlas. A Aye, por estar siempre conmigo para todo. A Tito por sus datos, sus mapas y su magia para que todo quede lindo. A Gonzalo, por su calidez y calidad humana. A Lucho, mi sitio de estudio, por su confianza ciega y su apoyo incondicional.

A mi banda amiga, la de siempre, la más nueva, la del INTA, la del agua, la de la Facu. Gracias por apoyarme hasta el final compartiendo hasta los nervios de la defensa. A mis compañeras y compañeros de posgrado, que hicieron de mis viajes a cursar momentos memorables. A los próceres del agua, por su generosa forma de compartir saberes. A mis compañeras del agua, superpoderosas presencias, gracias por su aliento y contención.

Al INTA, por financiar mi Maestría a través del programa de Becas de Formación de Posgrado y al equipo de la EEA Alto Valle, que acompañó el desarrollo de los ensayos. Al posgrado de Riego y Drenaje de la FCA-UNCuyo, especialmente a Pepe, por su infinita paciencia para ayudarme a superar dificultades y escollos administrativos. A La Deseada, por brindarme un espacio ideal para experimentar y confiar en este proyecto.

A todos los que me alentaron y creyeron profundamente en mí.

Resumen

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén es una zona de producción frutícola intensiva bajo riego. La presencia de una napa freática poco profunda modifica los contenidos de humedad en el perfil del suelo causando anegamiento y salinización del mismo, incidiendo en el balance de agua y en algunos casos comprometiendo el crecimiento y desarrollo de los frutales. Comprender el comportamiento de la freática y cuantificar el aporte capilar resulta fundamental para un manejo racional y eficiente del riego que permita a los cultivos alcanzar su máximo rendimiento sin comprometer la sustentabilidad del ambiente. Los objetivos del presente trabajo incluyeron determinar el comportamiento estacional del nivel freático de un área piloto, cuantificar el aporte capilar de agua al balance hídrico y evaluar el comportamiento de cerezos cv. Santana/Santa Lucia 64 en tres temporadas en el Alto Valle. Para evaluar la estacionalidad de la freática se instalaron 22 freatómetros que fueron revisados regularmente durante tres temporadas. Se utilizó el programa ARC GIS para modelar el comportamiento y generar los mapas del área de estudio. El ascenso capilar se determinó con el programa UPFLOW. Se tomaron los valores de contenido de humedad a 0,30, 0,60 y 0,90 m registrados con sensores FDR, se determinaron las curvas de retención de humedad del suelo y se calculó el balance hídrico. Para monitorear la respuesta de las plantas se midió el crecimiento de brotes, el contenido de almidón y carbohidratos no estructurales en corteza y raíz en las dos últimas temporadas y el último año de estudio el potencial agua y la conductancia estomática en cuatro momentos de la temporada 2015: inmediatamente finalizada la etapa de endurecimiento de carozo, a mitad de la etapa III, en cosecha y un mes después de la cosecha. Estos se correlacionaron con el déficit de presión de vapor y el contenido de humedad del suelo. La recarga del nivel freático del área piloto respondió a las pérdidas en el sistema de riego y presentó un patrón anual periódico caracterizado por dos máximos relativos, en primavera y otoño, separados por un abatimiento en verano. A nivel predial, se verificó y cuantificó el aporte capilar de agua desde la freática superficial. Se determinó un aporte del 38% y 66% de la ETc para las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016 respectivamente. Se detectó un efecto perjudicial en el desarrollo del cultivo que se evidenció por un menor crecimiento vegetativo de las plantas y por valores menores de conductancia estomática en primavera respecto al mes de enero, que no afectó la calidad de la fruta, pero sí el rendimiento, debido, sobre todo a la mortandad de plantas provocada por sucesivas condiciones de saturación previas. Así mismo, se observó una disminución de las reservas en la última temporada, sobre todo en la raíz. Se concluye que la fluctuación de la freática en primavera genera un aporte de agua capilar que no resulta en sí mismo un problema si su conductividad eléctrica no perjudica el desarrollo del cultivo y se evita la saturación del perfil por periodos prolongados con un sistema de drenaje adecuado. Existen herramientas que permiten manejar adecuadamente las condiciones de saturación de suelo temporal, que podrían evitar y/o minimizar las pérdidas de rendimiento.

Palabras clave: estrés por anegamiento, frutales de carozo, ascenso capilar, salinidad, estadística espacial.

Abstract

The Alto Valle of Río Negro and Neuquén is an intensive irrigated fruit producing area. The existence of a shallow water table modifies the water content in the soil profile, causing waterlogging and salinization, influencing the water balance and occasionally jeopardizing the growth and development of fruit trees. To understand the behavior of the water table and to quantify the capillary raise is essential to achieve a sustainable and efficient irrigation schedule to enable crops to reach their maximum yield without compromising the environmental sustainability. The aim of this work included the determination of the water table standard in a pilot area, the quantification of the capillary rise and its influence into the soil water balance and the assessment of the performance of cherry cv. Santana/Santa Lucia 64 in three seasons in the Alto Valle. In order to evaluate the water table level, 22 piezometers were installed and regularly measured for three seasons. ARC-GIS software was used to model the water table behavior and elaborate the maps of the area. Capillary rise was calculated using the software UPFLOW. Soil water content was measured with a FDR sensor at three depths: 0.20 m, 0.40 m and 0.60 m. Soil water retention curves were determined and water balance was performed. The fruit trees response was evaluated by measuring shoots growth and starch and non- structural carbohydrates content in roots and cortex for two seasons. In season 2015, water potential and stomatal conductance were also evaluated in four opportunities: after stone hardening, at mid-stage III, at harvest time and after fruit harvest. The measures were correlated to vapor pressure deficit and soil water content. Water table recharge of the pilot area responded to the losses in the irrigation system and showed an annual pattern with peaks in spring and fall, with a dejection in summer. In the field scale, capillary rise from the shallow water table was verified and quantified. The capillary water input to the soil profile, could cover between 38% and 66 % of the ET_c estimated for cherries during 2013-2014, 2014-2015 and 2015-2016 seasons. A detrimental effect was observed in crop development, affecting vegetative growth and causing stomatal conductance to be lower in spring in contrast to January. Fruit quality was not affected but yield was lower than expected, due to plant mortality induced by successive events of spring waterlogging. In addition, starch and carbohydrates storage decreased in the last season, especially in roots. It can be concluded that water table fluctuation in spring causes a capillary water input that is not a problem itself if the electric conductivity is not harmful for crops development and if soil profile waterlogging during long periods is prevented with an adequate drainage system. There are several management strategies to enable adequate water content conditions in order to avoid yield losses.

Key words: waterlogging stress, stone fruit trees, capillary raise, salinity, spatial statistics.

Índice

1	Introducción	14
1.1	El riego en Argentina.....	14
1.2	Las tierras de regadío de la Norpatagonia.....	15
1.3	Hidrogeomorfología y descripción de suelos	17
1.4	Representación espacial del comportamiento del nivel freático.....	24
1.5	La producción de cerezas en Argentina y la Norpatagonia	25
1.6	Evapotranspiración del cultivo	27
1.7	Contenido de agua del suelo	28
1.8	Balance hídrico	30
1.9	Respuesta fisiológica de frutales a condiciones de saturación del suelo	34
2	Objetivos e hipótesis	37
2.1	Objetivo General.....	37
2.1.1	Objetivos específicos.....	37
2.2	Hipótesis general.....	37
2.2.1	Hipótesis específicas.....	37
3	Materiales y Métodos	38
3.1	Comportamiento del nivel freático en un área piloto.....	38
3.1.1	Monitoreo de los niveles freáticos.....	38
3.1.2	Modelado espacial del comportamiento de la profundidad del nivel freático.....	40
3.2	Caracterización del sitio y balance hídrico	44
3.2.1	Selección y caracterización del sitio de estudio	44
3.2.2	Curvas de capacidad hídrica.....	45
3.2.3	Contenido de agua del suelo.....	45
3.2.4	Balance hídrico	45
3.2.5	Acenso capilar	48
3.3	Respuesta de la planta.....	49
3.3.1	Potencial hídrico xilemático al mediodía	49
3.3.2	Conductancia estomática	49
3.3.3	Crecimiento de brotes.....	49
3.3.4	Crecimiento de frutos	49
3.3.5	Calidad de fruta: índices de madurez	50

3.3.6	Estado nutricional y contenido de reservas: análisis foliares, carbohidratos no estructurales y almidón.....	50
3.3.7	Análisis estadístico de variables evaluadas	51
4	Resultados y discusión	52
4.1	Comportamiento del nivel freático en un área piloto.....	52
4.1.1	Monitoreo de los niveles freáticos.....	52
4.1.2	Modelado espacial del comportamiento de la profundidad del nivel freático.....	53
4.1.3	Mapas de isobatas o profundidades de nivel freático	55
4.1.4	Conductividad Eléctrica en el agua freática	60
4.2	Caracterización del sitio y balance hídrico del perfil radicular en La Deseada- Allen 63	
4.2.1	Caracterización del sitio y su perfil edáfico	63
4.2.2	Programación del riego localizado	70
4.2.3	Evaluación de los niveles freáticos.....	73
4.2.4	Contenido de agua del suelo, profundidad del nivel freático y ascenso capilar	73
4.2.5	Balance hídrico	80
4.3	Respuesta de la planta.....	82
4.3.1	Potencial agua y conductancia estomática.....	82
4.3.2	Crecimiento y calidad de frutos.....	85
4.3.3	Crecimiento de brotes.....	86
4.3.4	Estado nutricional y contenido de reservas	88
5	Conclusiones	92
6	Bibliografía.....	94
7	Anexos.....	104
7.1	Anexo I: tabla fechas seleccionadas para mapeo.....	104
7.2	Anexo II: salidas de ARC GIS y obtención de mapas	104
7.3	Anexo III: análisis de suelo.....	108
7.4	Anexo IV: ficha de descripción del perfil del suelo	110
7.5	Anexo V: tablas lecturas de nivel freático	111
7.6	Anexo VI: simulación del ascenso capilar. Salidas del software UPFLOW	112
7.7	Anexo VII: balance hídrico para la programación del riego.....	114

Índice de Tablas

Tabla 1. Valores orientativos de contenido de humedad en saturación (θ_{sat}), capacidad de campo (θ_{FC}), punto de marchitez permanente (θ_{WP}) y agua disponible total (TAW), para las clases texturales más frecuentes. Fuente: Pereira et al., 2010.	28
Tabla 2. Coeficientes de cultivo (kc) para cerezos, adaptados a las condiciones fenoclimáticas de la zona del Alto Valle de Rio Negro y Neuquén.....	46
Tabla 3. Análisis exploratorio de la profundidad del nivel freático en el área piloto de Alto Valle [2012-2016].	53
Tabla 4. Conductividad eléctrica del agua freática en el área piloto de la EEA Alto Valle.....	61
Tabla 5. Valores de referencia de la conductividad eléctrica del agua para su clasificación.	61
Tabla 6. Contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$) para cada horizonte identificado en el perfil de suelo de La Deseada - Allen.....	65
Tabla 7. Análisis de suelo a tres profundidades en La Deseada - Allen. 2013.....	65
Tabla 8. Análisis de suelo a partir de los perfiles descriptos para La Deseada - Allen. 2016.....	67
Tabla 9. Succión matriz y contenido de humedad en % de volumen de La Deseada - Allen.	69
Tabla 10. Cálculo de las necesidades netas y totales de riego ($mm.dia^{-1}$). Se calcularon los promedios diarios en periodos de 10 días para todo el ciclo del cultivo. Al pie de la tabla se resumen el valor para el periodo 2004-2016 (serie de datos para cálculo de valores medios) y para cada temporada de análisis (2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016), expresado en $mm.año^{-1}$	71
Tabla 11. Necesidad total ($mm.dia^{-1}$) y tiempo de riego ($h.dia^{-1}$) de acuerdo al marco de plantación, caudal y número de emisores. Se calcularon los promedios diarios en periodos de 10 días para todo el ciclo del cultivo. Al pie de la tabla se resume el valor de lámina total para la serie 2004-2016 y para cada temporada de análisis (2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016) en $mm.año^{-1}$	72
Tabla 12. Lamina aplicada en la defensa por aspersion para cada temporada, La Deseada - Allen.	72

Tabla 13. Cálculo de ascenso capilar para la temporada 2013-2014 en La Deseada - Allen.....	75
Tabla 14. Cálculo de ascenso capilar para la temporada 2014-2015, La Deseada - Allen.....	77
Tabla 15. Calculo de ascenso capilar para la temporada 2015 - 2016, La Deseada - Allen.....	79
Tabla 16. Rendimiento e índices de madurez de cerezas cv Santina en La deseada, Allen.	85
Tabla 17. Análisis foliares de cerezos cv Santina/SL64 en La Deseada – Allen y valores de referencia de acuerdo a Sánchez (1999).....	88

Índice de Figuras

Figura 1. Transformación del paisaje de las tierras de regadío. Izquierda: contraste entre el paisaje natural y las áreas irrigadas (Fuente: fototeca EEA Alto Valle). Derecha: vegetación natural de las zonas áridas.	14
Figura 2. Áreas irrigadas del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.	16
Figura 3. Representación de la variabilidad de los suelos aluviales que conforman el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, representada por las unidades cartográficas identificadas en cada sitio. Fuente: CYL-AyEE, 1991.	18
Figura 4. Clasificación textural de los suelos del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Fuente: Bestvater y Casamiquela, 1983.	19
Figura 5. Producción y distribución para la exportación, temporada 2018-2019. Fuente: Caminiti, 2019.	26
Figura 6. Esquema del balance hídrico en la zona de enraizamiento, adaptado de Girona, 2017.	31
Figura 7: Tamaño y forma teóricos del bulbo húmedo en relación A) a la textura del suelo, adaptado de Pereira et al. (2010) y B) al caudal de los emisores y tiempo de riego, adaptado de Podestá (2015).	31
Figura 8. Gradiente de potenciales posibles en el continuo suelo-planta-atmosfera, adaptado de Girona, 2017.	33
Figura 9. Sitios de estudio seleccionados en el Alto Valle del río Negro.	38
Figura 10. Distribución de frentímetros en el predio de la EEA Alto Valle.	39
Figura 11. Parámetros utilizados en el ajuste del semivariograma a funciones matemáticas. Fuente: Gallardo, 2006.	42
Figura 12. Esquema de cálculo para la programación del riego localizado mediante el balance hídrico, adaptado de Pizarro (1996).	46
Figura 13. Evolución de coeficiente de cultivo de cerezas en el alto Valle de Río Negro y Neuquén.	47

Figura 14. Hidrograma del comportamiento del nivel freático en el área piloto de la EEA Alto Valle.....	52
Figura 15. Semivariograma empírico con modelo esférico ajustado.	54
Figura 16. Isobatas de primavera.....	56
Figura 17. Isobatas de verano.	57
Figura 18. Isobatas de otoño.....	58
Figura 19. Isobatas de invierno.....	59
Figura 20. Plano de La Deseada - Allen. Los puntos verdes indican los freatómetros instaladas; las líneas azules indican los ramales principales del riego localizado en los cuadros con cerezos.	63
Figura 21. Clasificación del sitio de estudio de La Deseada - Allen de acuerdo a las unidades cartográficas (CYL-AyEE, 1991).	64
Figura 22. Estado general del monte frutal en el sitio de estudio evaluado. Noviembre de 2013.	66
Figura 23. Plantas con raíces superficiales y horizontalizadas extraídas del sitio de estudio.	67
Figura 24. Calicata del sitio de estudio de La Deseada - Allen en la que se observa el perfil de humedecimiento y la posición de la tabla de agua.	68
Figura 25. Curva de capacidad hídrica La Deseada - Allen	69
Figura 26. Hidrograma del sitio de estudio, La Deseada - Allen.	73
Figura 27. Contenido volumétrico de agua del suelo y nivel freático para los 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m en La Deseada - Allen durante la temporada 2013-2014. Los umbrales corresponden a las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (CC), agua fácilmente aprovechable (AFA) y punto de marchitez permanente (PMP). La flecha indica la ocurrencia de un evento de precipitación extremo.	74
Figura 28. Contenido volumétrico de agua del suelo y nivel freático para los 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m en La Deseada - Allen durante la temporada 2014-2015. Los umbrales corresponden a las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (CC), agua fácilmente aprovechable	

(AFA) y punto de marchitez permanente (PMP). Las flechas indican la ocurrencia de eventos de precipitación.	76
Figura 29. Contenido volumétrico de agua del suelo y nivel freático para los 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m en La Deseada - Allen durante la temporada 2015-2016. Los umbrales corresponden a las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (CC), agua fácilmente aprovechable (AFA) y punto de marchitez permanente (PMP). Se indican las precipitaciones relevantes con flechas.....	78
Figura 30. Esquema de cálculo para el balance hídrico, considerando el aporte de agua capilar y la defensa activa de heladas.	80
Figura 31. Relaciones hídricas en el continuo suelo-planta-atmósfera durante el periodo octubre 2015 a enero 2016: A) evolución del déficit de presión de vapor (VPD; kPa), B) conductancia estomática (gs) medida en cuatro momentos: fin de endurecimiento de carozo, etapa III, cosecha y poscosecha; C) potencial agua xilemático al medio día, medido en los mismos momentos que gs. D) evolución del contenido volumétrico de agua (VWC) a 0,30, 0,60 y 0,90 m de profundidad y altura del nivel freático.	83
Figura 32. Evolución del peso de los frutos (g) y de las tasa de crecimiento ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$) en función de los días transcurridos desde la fecha de plena floración (DDPF) en La Deseada – Allen. ...	86
Figura 33. Tasa de crecimiento de brotes en las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016. Las barras corresponden al error standard.	87
Figura 34. Longitud final media de brotes (cm) en La Deseada - Allen para las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016. Letras distintas indican diferencias significativas al $p < 0,05$	88
Figura 35. Estado general del sitio de estudio, La Deseada – Allen. 2015.	89
Figura 36. Contenido de almidón (A y B) y de carbohidratos no estructurales (C y D) en corteza de tronco y raíces de cerezos Santana/SL64.	91

1 Introducción

1.1 El riego en Argentina

La competitividad de la actividad agraria en un mundo globalizado condiciona el presente y futuro de muchos de los establecimientos que son, de acuerdo al modelo productivo vigente, unidades técnico-económicas de gestión que deben garantizar rentabilidad sin perder de vista la sustentabilidad. La tecnología que se aplica para sostener los márgenes de beneficio debería, además, reducir los impactos ambientales y tender a la conservación de los recursos naturales y la equidad social, pilares de la sostenibilidad de los territorios (Pereira *et al.*, 2010).

El 70 % del territorio continental de la República Argentina es árido o semiárido. La superficie cultivada de todo el país asciende actualmente a 39 millones de hectáreas, de las cuales 2,1 millones, el equivalente al 5 % del total cultivado, se encuentran bajo riego (FAO, 2015a). Si bien en nuestro país se riegan tierras de cultivo desde épocas precolombinas, fue recién a fines del siglo XIX, cuando se registró el desarrollo de obras de riego y regulación de los ríos (Chambuleyron y Morabito, 2005).

Los recursos hídricos superficiales en las zonas áridas y semiáridas representan el 18 % de los recursos superficiales totales del país y escurren por las zonas de menor precipitación (100 mm a 500 mm por año) y mayor evaporación (2000 mm por año). El aprovechamiento de los recursos hídricos no solo hace posible la producción de alimentos, sino que además, promueve el desarrollo social, económico e industrial de las tierras en las que se desarrollan los sistemas de regadío. En algunas regiones, los recursos hídricos se comprometen además para actividades mineras y petrolíferas, agregando complejidades al compromiso medioambiental (Zappi, 2012).



Figura 1. Transformación del paisaje de las tierras de regadío. Izquierda: contraste entre el paisaje natural y las áreas irrigadas (Fuente: fototeca EEA Alto Valle). Derecha: vegetación natural de las zonas áridas.

Son cinco las áreas de Argentina en las que los recursos hídricos se usan más intensamente con fines de regadío: el noroeste o NOA, el centro, la región de Cuyo y las zonas de Comahue y Patagonia. Entre ellas, la Patagonia cuenta proporcionalmente con mayores recursos hídricos

superficiales (69%), aunque con menos área regable (21%). Las características hidrológicas de los ríos del país son diferentes: en la región patagónica, los ríos son muy caudalosos, de origen glacial, con dos periodos de estiaje y dos crecidas provocadas por las precipitaciones de invierno y el deshielo de verano (Chambuleyron y Morabito, 2005).

En Argentina, la mayor parte de los suelos salino-sódicos tiene su génesis en el material de origen. Sin embargo, cuando el aumento progresivo del contenido de sales de un suelo es inducido por las actividades humanas que alteran el equilibrio de los balances de agua y de sales alcanzados en condiciones naturales, se está frente a procesos de salinización secundaria (Mendía e Irisarri, 1995). Estos procesos de salinización secundaria son la causa principal del deterioro de los suelos en las regiones áridas y semiáridas bajo riego, ya sea por elevación del plano freático, disolución de las sales presentes en el perfil del suelo regado o agregado en el proceso de aplicación del agua de riego proveniente de la disolución previa en la misma. Del análisis nacional se desprende que, en términos generales, un 23 % de los suelos regados de Argentina presenta algún nivel de afectación por acumulación de sales en el perfil (FAO, 2015a).

La infraestructura de riego debería entonces tener asociada una infraestructura de drenaje que permita la eliminación de los excesos de agua del suelo a fin de mantener condiciones de aireación adecuadas, lixiviar sales y favorecer los procesos biológicos aeróbicos del perfil, indispensables para el adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos (Chambuleyron, 2005). Además, deberían implementarse acciones relacionadas al manejo agronómico, tendientes a minimizar los riesgos de degradación de los suelos.

1.2 Las tierras de regadío de la Norpatagonia

El uso del agua para riego en los valles de las provincias de Río Negro y Neuquén es un tema medular para la matriz productiva que ha sido abordado desde distintas perspectivas de estudio a lo largo de los años. Centrando la atención sobre las zonas del bajo Neuquén y Limay y del Alto Valle del río Negro, con déficit hídrico permanente, es necesario tener presente que su transformación a áreas productivas, exigió primero solucionar la escasez e irregularidad de las precipitaciones (Fernández Muñoz, 2003). En los valles irrigados de la Norpatagonia, esto fue posible tras la construcción de infraestructuras hidráulicas desarrolladas a partir de inversiones públicas, que aseguraron el acceso al agua de riego, regularon el régimen de crecidas y estabilizaron las márgenes de los ríos, permitiendo de esta manera producciones agrícolas sostenidas.

El uso del agua para riego fue fundamental en el proceso de transformación del espacio natural al territorio agrícola de regadío que conforma el perfil socio productivo de la zona (Fernández Muñoz, 2003). Según Svampa (2016), la puesta en funcionamiento del sistema de riego fue uno de los procesos históricos dados en la primera etapa de la consolidación del perfil agrario del Alto Valle, al que se sumaron el re-aseguramiento poblacional y la construcción de una infraestructura de transporte ferroviario desarrollada por los ingleses.

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén está ubicado entre los 38°40' y 39° 20' de latitud sur y los 66°50' y 68° 20' de longitud oeste y representa un área muy extensa que abarca los valles aluviales de los ríos Neuquén inferior, Limay inferior y el valle superior del río Negro, formando una faja

de 130 km de largo y ancho variable de entre 2 y 12 km (Marizza *et al.*, 2009; Apcarian *et al.*, 2014).

Los ríos son los auténticos motores del desarrollo regional con caudales módulo de $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en el Limay, $280 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en el Neuquén y $930 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en el río Negro, de acuerdo a la información encontrada en el sitio web de la AIC (<http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuena>). Se utilizan para irrigar una superficie de casi 100.000 hectáreas a través de un extenso sistema de canales, de las cuales 38446 ha se encuentran cultivadas con frutales de pepita y carozo (Pavese *et al.*, 2013; SENASA, 2020).

Las obras de irrigación en el Alto Valle con las que nació el Sistema Integral de Riego, fueron desarrolladas por Obras Publicas de la nación. La Ley Nacional de Irrigación N° 6546 del año 1909, preveía los estudios, proyectos y ejecución de obras que era necesario construir a los efectos del aprovechamiento de las aguas de los ríos Neuquén, Limay y Negro, con el objetivo de distribuir el agua para riego y minimizar las variaciones estacionales de los caudales de los ríos. La construcción de un dique regulador en el río Neuquén y de canales de riego que derivaban sus aguas hacia la Cuenca Vidal fue finalizada en 1916 (Galeazzi *et al.*, 2018). El dique Ingeniero Ballester alimenta el canal principal del Sistema Integral de Riego del Alto Valle (SIRAV) y opera como uno de los reguladores de las crecidas del río Neuquén. El canal principal, de 130 km de largo, se complementa con una vasta red de canales secundarios y terciarios y de desagües.

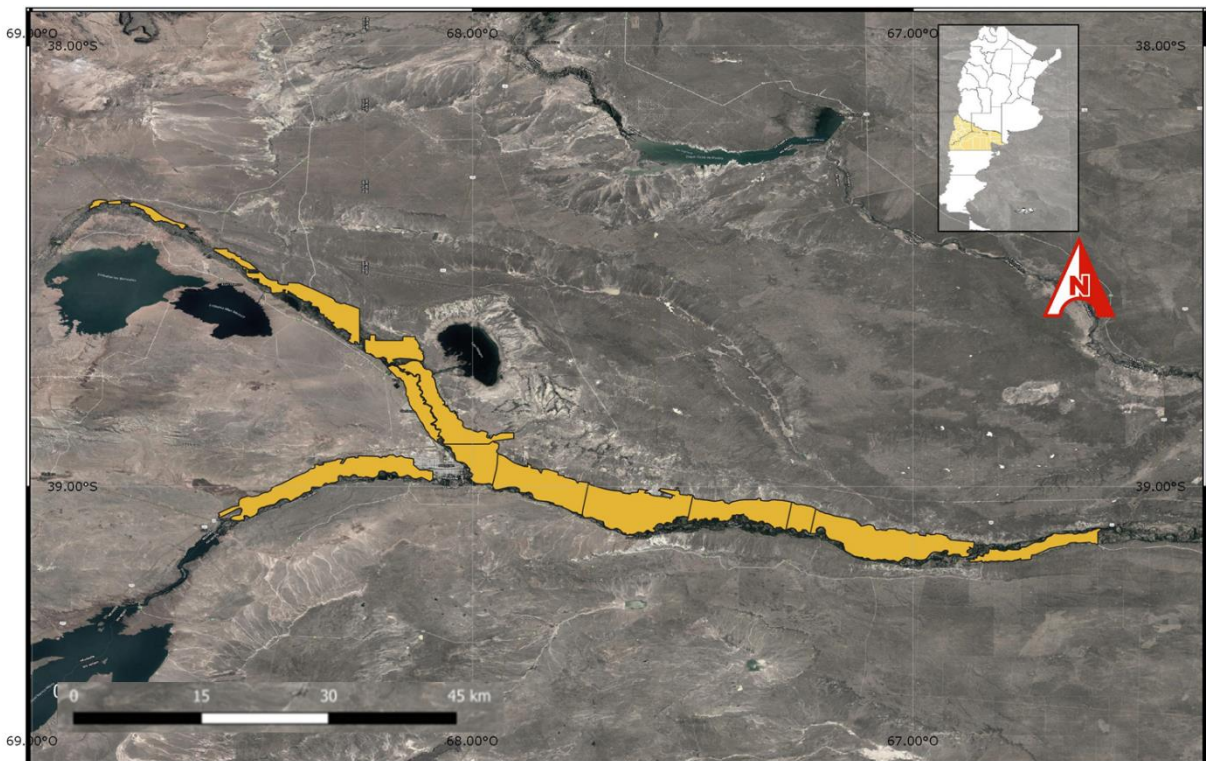


Figura 2. Áreas irrigadas del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

1.3 Hidrogeomorfología y descripción de suelos

La génesis de suelos aluviales como los del Alto Valle, ha dado como resultado la presencia de perfiles con escaso desarrollo pedogenético (perfiles isotrópicos) vinculados en cortas distancias a otros con horizontes contrastantes (perfiles anisotrópicos), lo que lleva a presuponer comportamientos diferentes frente a los aportes de agua de riego (Mendía e Irisarri, 1995).

La zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, ocupa la porción inferior de las terrazas labradas por los ríos. Los sucesivos pulsos de ascenso de la Cordillera de los Andes modificaron los niveles de base originando un amplio sistema de terrazas del que se encuentran ocupados los niveles inferiores. En el sistema de terrazas, se pueden diferenciar por sus rasgos fisiográficos según Mendía e Irisarri (1995), dos áreas: los remanentes de terraza patagónica antigua o barda, que aparecen como cerros pedregosos al norte y noroeste de Cipolletti, sin potencial de uso agronómico y los depósitos coluviales, transición entre la terraza antigua y el valle aluvial, ligeramente inclinados y disectados por cañadones que se abren en forma de abanico hacia terrazas inferiores formando conos aluvio coluviales, de los cuales solo han sido emparejados y cultivados algunas porciones inferiores.

Dentro del área relevada por el informe edafológico del Estudio para el Aprovechamiento Integral del Río Negro, se distinguen tres grandes unidades geomorfológicas: la llanura aluvial reciente, la llanura aluvial subreciente y la llanura aluvial antigua. En cada unidad geomorfológica se han segregado diferentes unidades cartográficas (Figura 3) y de acuerdo a los lineamientos de *Soil Taxonomy* se reconocieron en el Alto Valle los órdenes Entisoles y Aridisoles (CYL-AyEE, 1991a).

Los suelos de mayor edad y desarrollo pedogenético que se encuentran cultivados son los de la terraza aluvial antigua y subreciente. Dentro de los Aridisoles, identificados como anisotrópicos, se reconocen como dominantes aquellos con horizontes cámbicos, asociados a condiciones ácuicas la mayoría de los años. Los suelos más isotrópicos asociados a este nivel de terrazas han sido reconocidos como Fluvents, profundos, de texturas medias y moderadamente calcáreos. Presentan dos limitaciones fuertes: salinidad y condiciones redox (estrés de oxígeno) dentro del perfil, ambas asociadas a la altura del nivel freático y en el caso de la salinidad, también a su calidad (Mendía e Irisarri, 1995).

La terraza aluvial reciente representa la faja de tierras más cercana al río, en la que se reconocen Entisoles con características diferentes: Psaments (homogéneos de textura media y fina), Fluvents (de marcada estratificación y texturas franco arenosas a franco limosas) y Orthens (sobre los albardones pedregosos, de texturas franco arenosas y con abundantes fragmentos gruesos) (Mendía e Irisarri, 1995).

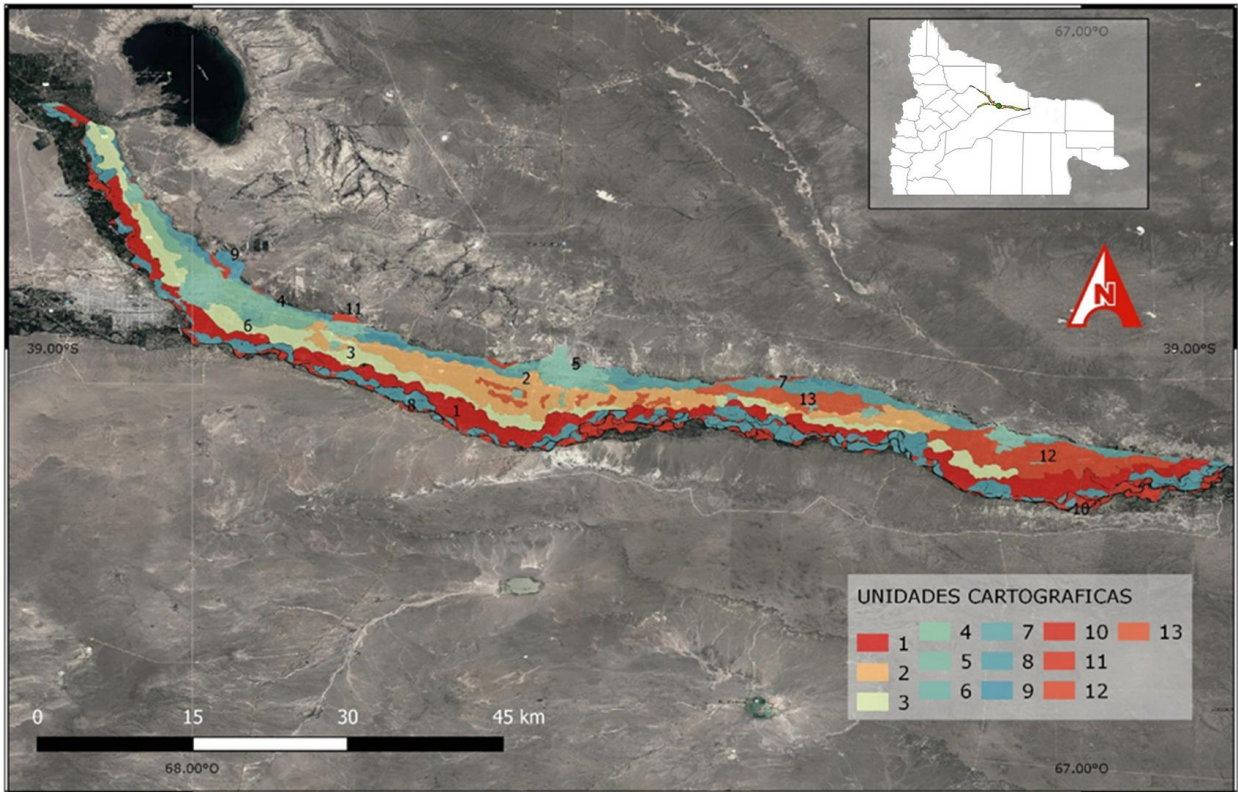


Figura 3. Representación de la variabilidad de los suelos aluviales que conforman el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, representada por las unidades cartográficas identificadas en cada sitio. Fuente: CYL-AyEE, 1991.

Los suelos del Alto Valle, se clasificaron también de acuerdo a su distribución textural por Bestvater y Casamiquela (1983), permitiendo la caracterización de los siguientes grupos: suelos de barda, suelos de media barda, suelos de media costa y suelos de costa. Los suelos de barda y los de costa, son predominantemente arenosos, mientras que los de media barda fueron reconocidos como franco limoso a francos y asociados a problemas de salinidad y drenaje, ocupando el 50 % del área relevada en estudio. Los suelos de media costa, con texturas franco arenosas a arenosas francas resultan de buena infiltración y permeabilidad (Figura 4).

En la medida en que el uso de las fuentes de agua se torna más intensivo, empiezan a aparecer consecuencias de distinta índole que afectan un territorio más amplio que el ocupado por la localización puntual del aprovechamiento. La cuenca debe ser considerada como una unidad ambiental en la que existe una estrecha relación entre el agua y los demás recursos naturales, sus habitantes y su organización sociocultural. Aunque el recurso hídrico tiene carácter de inagotable, su utilización requiere la aplicación de ciertos cuidados tendientes a no alterar su calidad. Por ello, el manejo debe incorporar el desarrollo integrado de los recursos y el impacto ambiental (<http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuenca>).

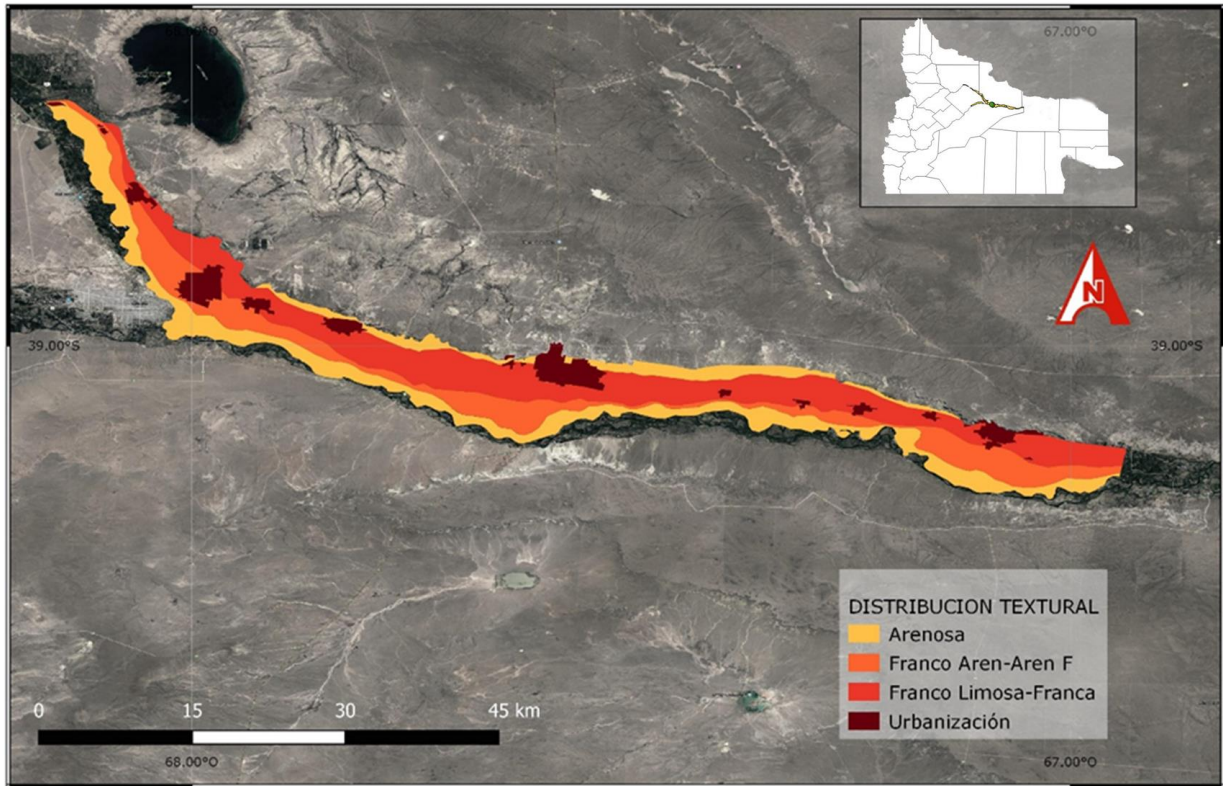


Figura 4. Clasificación textural de los suelos del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Fuente: Bestvater y Casamiquela, 1983.

Los suelos del Alto Valle fueron afectados en distinta magnitud, por las modificaciones ocurridas en los histogramas de los ríos luego de la construcción de las obras de regulación de los mismos. La vinculación entre el caudal de los ríos y la profundidad del nivel freático ha sido estudiada por Alvarez *et al.* (1995), Mendía e Irisarri (1995) y Horne *et al.* (1992).

La extensa franja de tierras de regadío que conforma el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, está sujeta predominantemente a un régimen de producción agrícola intensiva. El método de riego más ampliamente utilizado es el gravitacional y con eficiencias medias que pueden alcanzar valores tan bajos como el 30%. Los problemas de diseño, mantenimiento, distribución y operación de los sistemas de riego y drenaje y de la aplicación predial de agua de riego, recargan el acuífero y dan lugar a una freática estacional poco profunda (Álvarez *et al.*, 1995; Mendía e Irisarri, 1994; Horne *et al.*, 1992).

Los ríos de las cuencas del Limay, Neuquén y Negro, presentan aguas con baja salinidad (0,17 a 0,30 dS.m⁻¹), pero con niveles de sodio en solución relativamente altos, pH en ocasiones superior a 7 y valores de RAS y PSI altos en el suelo, por el desequilibrio iónico entre el sodio, el calcio y el magnesio. Debido a que estas cuencas en las provincias en estudio se riegan por gravedad, la dificultad mayor está en las condiciones de drenaje de los suelos, la profundidad de la freática y las fuerzas de tensión superficial de las partículas del suelo (FAO, 2015b).

A pesar de la baja salinidad de las aguas de la cuenca del río Negro que las hace de excelente calidad para riego (CIL-AyEE, 1991a), ya en la década de 1980 se evidenciaban signos de deterioro del suelo en las áreas regadas como consecuencia de la salinización provocada por la

elevación del nivel freático (CIL-AyEE, 1988; Ayers y Westcot, 1986). Se identificaron como principales factores de recarga del acuífero y elevación de la freática las importantes pérdidas por infiltración de la red de canales de riego sin revestir, agravada por la ausencia de una red de drenaje eficiente y al mal uso del agua por parte de los agricultores. Se verificaron eficiencias de conducción y aplicación notablemente bajas y un 61% del área de los Valles en el periodo de riego afectada por niveles freáticos superiores a los recomendados para los cultivos frutícolas que se desarrollan en la zona (CIL-AyEE, 1990).

Según Apccarian *et al.* (2014), todos los niveles de terrazas fluviales del Alto Valle de Río Negro están sujetos a fluctuaciones de la capa freática con distinta intensidad. Esto, combinado en algunos casos con suelos con elevado contenido de carbonatos, da lugar a la formación de capas endurecidas de origen freatogénico. La distribución de esa afectación a nivel regional no es uniforme. La parte más alejada del río, asociada a los suelos de las terrazas antiguas del Valle, es más salina y con alta peligrosidad sódica, por lo que es indispensable el abatimiento de los niveles freáticos- para que no se acumulen sales en el perfil radicular o se recuperen aquellos afectados por salinidad y alcalinidad (CIL-AyEE, 1991a). Puede establecerse como generalidad que los sectores de las terrazas bajas próximas al río y en algunos casos parte del ambiente aluviocolumbial, presentan las tierras más aptas para riego en la mayoría de las áreas estudiadas (CIL-AyEE, 1991b).

Desde el punto de vista hidrogeológico el valle posee un acuífero freático, cuyo espesor varía entre los 4 y los 7 metros. El techo del mismo se encuentra a una profundidad de entre 1 y 4 metros por debajo del terreno y el hidroapoyo entre los 9 y los 20 metros de profundidad. Este acuífero se caracteriza por presentar en algunas áreas, una relación efluente – influente con los cursos superficiales de agua que depende de los caudales de los ríos.

El hidroapoyo está constituido por capas alternantes de areniscas y perlitas de resistencia mecánica diferencial y baja permeabilidad. La formación no tiene importantes accidentes de relieve y posee una geomorfología plana con una suave inclinación noreste que acompaña la pendiente promedio del río. El material sobreyacente al hidroapoyo es de alta permeabilidad, con espesores promedios de diez metros y es el que alberga al acuífero freático. Puede dividirse en dos horizontes: uno inferior de material grueso formado por gravas y arenas sin cementar y uno superior de material más fino que forma el suelo, con un espesor promedio de dos metros que puede estar saturado en los períodos de ascenso del nivel freático (Pavese *et al.*, 2013).

El origen de las sales disueltas en el agua subterránea del acuífero es casi exclusivamente continental, producto del lavado de los sedimentos por los cuales circula y en ciertos sectores de los aportes provenientes de las aéreas de meseta. Esta fuente de agua subterránea en general, de escasa producción, es utilizada para riego a presión, industrial y doméstico (Rossi, 2015).

El sistema de riego contempla los retornos de drenaje hacia el río, que funciona como dren natural del valle. El SIRAV cuenta con casi 500 km de desagües (sin considerar los comuneros), que originalmente fueron solo drenajes agrícolas pero que hoy funcionan como sistemas de descarga pluvioaluvional asociados a las áreas urbanas y siguen siendo mantenidos y operados por los consorcios de riego y drenaje. La salinización de los suelos, el anegamiento por niveles freáticos altos, la contaminación del acuífero, su utilización para la defensa contra heladas, la eutrofización del río proveedor de agua potable y recreación ponen en serio riesgo la sostenibilidad del sistema

socio-productivo del Alto Valle, afectando en forma directa el sistema de riego y drenaje que lo hace posible (Pavese *et al.*, 2013).

El exceso de salinidad en la zona radicular afecta adversamente el desarrollo de los cultivos y su grado de afectación estará determinado por su nivel de tolerancia. En el caso de los frutales, las pérdidas relativas de rendimiento comienzan con valores de conductividad eléctrica mayores a 2 dS/m y se vuelven importantes con valores superiores a los 4 dS/m dentro de los 0,50 m de perfil de suelo (Mendía e Irisarri, 1995).

Los estudios que permiten diagnosticar problemas de drenaje, como así también los programas de monitoreo de fluctuaciones de los niveles freáticos en áreas afectadas o potencialmente susceptibles son implementados frecuentemente en zonas de regadío. Las mediciones en las redes de observación freática insumen una considerable cantidad de tiempo y presupuesto por la dispersión de los puntos de observación. El relevamiento de la evolución del manto freático con sus fluctuaciones a lo largo del año, permite reconocer el grado de afectación espacial y temporal que se da sobre las áreas cultivadas (Galeazzi *et al.*, 2007). El área irrigada del Alto Valle es monitoreada desde el año 1983 por una red de aproximadamente 700 freatómetros, construida por Agua y Energía Eléctrica de la Nación. En el año 1996, con aportes económicos de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC), la red freática se complementó y consolidó con aproximadamente 400 nuevos freatómetros (Rossi, 2013). A partir de un convenio entre la AIC y los consorcios de riego, se sostuvo el programa de monitoreo de la red regional hasta el año 2012.

A partir de los registros de las lecturas freáticas se han realizado estudios a nivel regional, entre los que se encuentran parte del Estudio para el Aprovechamiento Integral del Río Negro, los convenios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue con Agua y Energía Eléctrica de la Nación primero y con el Departamento Provincial de Aguas (DPA) después y el informe de Agua Subterránea del Alto Valle de Río Negro realizado por el DPA que sintetiza la información relevada por los consorcios de riego a partir del financiamiento de la AIC (CIL-AyEE, 1988; Horne *et al.*, 1992; Álvarez *et al.*, 1995; Rossi, 2013).

La densidad y periodicidad de la información a nivel regional es variable. De acuerdo al informe de Álvarez *et al.* (1995), se relevaron 855 freatómetros en un área de 60.000 hectáreas, que representa un freatómetro cada 70 ha y resulta apropiado para la realización de estudios a nivel de gran zona. Esto varía de acuerdo a cada área particular: para la zona de influencia consorcial de Cinco Saltos hay, efectivamente, un freatómetro cada 70 ha, en el área de Huergo, Godoy y Mainque la densidad es de un freatómetro cada 295 ha y en Cervantes la red freática está constituida por 27 freatómetros activos, lo cual se corresponde a una densidad de un freatómetro cada 326 ha (Rossi, 2013). En muchos casos y por distintos motivos, los puntos de observación han salido de servicio (Álvarez *et al.*, 1995).

Puede considerarse que existe una base de datos histórica continua entre los años 1996 y 2012, por consorcio, con frecuencia de lectura mensual, aunque con registros discontinuos en algunos sectores (Rossi, 2015). Si bien Horne *et al.* (1993) y Álvarez *et al.* (1995) plantean la necesidad de implementar áreas piloto dentro del Sistema Integral de Riego del Alto Valle, recién en 2002 y solo en un área particular hay referencias de estudios de detalle, a escala parcelaria, específicos del comportamiento del nivel freático. Tal es el caso de la zona Consorcial Cinco Saltos - Cipolletti

donde se monitoreó el área del Puente la S, con 72 freatómetros en 284 hectáreas, lo que implica una densidad de puntos de muestreo de un freatómetro cada 4 hectáreas. Esta red de monitoreo fue instalada en el marco de un Proyecto de Extensión a cargo del Ing. Agr. Juan Galeazzi de la Facultad de Ciencias Agrarias con el objetivo de evaluar alternativas de manejo en un área con problemas de drenaje, analizando la relación directa de la elevación del plano freático y su efecto en el balance hídrico de la zona de exploración radicular de los cultivos frutícolas (Marizza *et al.*, 2009; Galeazzi *et al.*, 2007; Montenegro, 2014; Rossi, 2013;). El seguimiento de los niveles freáticos del área piloto del Puente la S demostró que incluso antes del inicio de la temporada de riego, el 36 % del área presentaba niveles freáticos más superficiales 1,5 m, mientras que, en plena temporada de riego, el 82% del área en estudio presentaba niveles freáticos más superficiales a 1 m (Galeazzi *et al.*, 2005).

La drenabilidad es una de las propiedades más deseables que debería presentar un área de regadío ya que determina el ascenso o descenso del plano freático que, siendo por lo general más salino que el agua de riego o incorporando las sales presentes en el suelo, las deposita en superficie al evaporarse el agua del perfil. Los mayores niveles de afectación por sales se relacionan con la presencia de un plano freático elevado y fluctuante en lo estacional (FAO, 2015b).

Desde el punto de vista edafológico, el drenaje de un suelo es un indicador indirecto de su condición redox. Las clases naturales de drenaje, se asignan considerando la altura y tiempo permanencia de la tabla de agua en las cercanías de la superficie del suelo. Así, un suelo corresponde a la clase “pobrementemente drenado” cuando el nivel freático está más o menos cerca de la superficie, “imperfectamente drenado” cuando la freática está cerca de la superficie durante un periodo de tiempo, alternando ascensos y descensos y “moderadamente bien drenado” cuando esta situación de alternancia ocurre en periodos cortos de tiempo (Mendía e Irisarri, 1995).

La condición redox en suelos imperfectamente drenados es uno de los elementos que define su condición ácuica. La saturación ácuica o saturación por agua se define con las lecturas freatómetricas que precisan el punto exacto en el que se encuentra el nivel freático. Estos se complementan con la estimación del contenido de agua del suelo por encima de la posición de la capa freática (Mendía e Irisarri, 1995).

La dinámica del acuífero freático en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén está condicionada por los procesos que transformaron el espacio natural en territorio agrícola de regadío más que por la influencia de los cuerpos superficiales de agua. En el análisis de los datos freatómetricos de la red del Alto Valle, Horne *et al.* (1992) identificaron extensas zonas a partir del agrupamiento de pozos contiguos con comportamientos asociado en el tiempo y con la característica común de manifestar un movimiento anual del manto freático marcadamente periódico. El movimiento se caracteriza por presentar dos máximos relativos en noviembre y marzo, separados por un abatimiento. La explicación a este marcado comportamiento estacional se da por la baja evapotranspiración que presentan los periodos mencionados en los que se incrementan los volúmenes de riego por la lucha contra heladas en primavera y el lavado de las sales acumuladas en el perfil y el último riego de año, en otoño (Horne *et al.*, 1992).

La influencia de los caudales de los ríos en la altura del plano freático alcanza las áreas comprendidas en una franja inmediata de entre 600 y 1000 m (CIL-AyEE, 1988; Álvarez *et al.*,

1995; Galeazzi *et al.*, 2007), con comportamientos diferentes sobre el río Neuquén y el río Negro. Esto se demostró en el análisis de los porcentajes de afectación freática del área piloto del Puente la S, cuyo límite oeste dista 1500 m del río Neuquén, donde no se registró ninguna influencia de los caudales del río en la oscilación de la freática (Galeazzi *et al.*, 2007). Algunos eventos de precipitaciones sí demostraron tener influencia en el porcentaje de afectación por niveles freáticos superficiales. Sin embargo, el factor que permite comprender la variación estacional de las napas freáticas a nivel regional es la entrada de agua al canal principal y, por su intermedio, a toda la red de riego. El efecto de la gran recarga del acuífero como consecuencia de las pérdidas que se producen en la conducción, distribución y aplicación del agua se manifiesta desde la primavera hasta el otoño, es decir durante toda la temporada de riego (Galeazzi *et al.*, 2007).

Sin embargo, dado que el único estudio a escala predial es el del Puente la S, es necesario analizar otras áreas utilizando esa escala de abordaje y densidad de puntos de muestreo, para reconocer y caracterizar situaciones locales y evaluar la respuesta de los frutales a las fluctuaciones de la napa freática (Álvarez *et al.*, 1995).

La profundidad freática que afecta a cada cultivo depende de numerosos factores, tales como la sensibilidad del mismo, la textura del suelo y la salinidad del agua freática entre otros. Las recomendaciones de FAO (1979) para el diseño de drenes indican que el nivel freático debería mantenerse por debajo de la zona de raíces más activas, que para cultivos frutales se da entre 1,10 m y 1,60 m. En zonas áridas, suelen considerarse dos profundidades críticas: una para la temporada de crecimiento del cultivo, que garantice la aireación de la zona radical y otra “de seguridad” en los períodos en los que no hay lluvia ni riego, para controlar el ascenso capilar y los procesos de salinización asociados (Van Der Molen, 2007). Para la zona del Alto Valle, Mendía e Irisarri (1995) realizaron una evaluación de los riesgos de salinización en función de tres parámetros: la profundidad del nivel freático en la época de riego, la salinidad del nivel freático en el mismo periodo y la textura del suelo en el perfil de exploración radicular, considerado entre la superficie del suelo y los 0,60 m.

En algunos suelos como los del Alto Valle, con capas texturales contrastadas, la dinámica del agua y los solutos se complejiza debido a la discontinuidad de las propiedades edáficas y para algunos estudios de salinidad el término “profundidad crítica de la capa freática” indica la profundidad a partir de la cual el ascenso capilar no causaría salinización de los horizontes del suelo que conforman la zona de exploración radicular (Li *et al.*, 2014).

En las regiones áridas y semiáridas en las que el riego es la principal o la única entrada de agua al balance hídrico de los cultivos, coincidente con la demanda máxima, la posición del nivel freático podría, en algunas condiciones, resultar un beneficio. Así, si no se generan condiciones de asfixia radicular limitantes para los cultivos, el aporte capilar de agua no salina hacia la zona radicular, podría resultar un complemento al riego (Soppe *et al.*, 2003; Sepaskhah *et al.*, 2003; Galeazzi y Aruani, 2019). A partir de la cuantificación del aporte de agua capilar hacia la zona radicular de cultivos de pera regados por manto en la zona del Alto Valle, se estimó que las napas de agua superficiales pueden cubrir entre el 60 % y el 70 % de la demanda hídrica de los cultivos frutales con riego por superficie (Mañueco *et al.*, 2018; Galeazzi y Aruani, 2019).

Además del efecto de la variación estacional del nivel freático, algunas prácticas habituales del manejo agronómico de los frutales como la defensa contra heladas primaverales, pueden causar condiciones temporales de saturación del perfil radicular. El momento de defensa de heladas tardías coincide con la salida del reposo invernal, cuando ocurren procesos como la floración y el inicio del crecimiento de raíces y brotes que son dependientes del nivel de reservas en una primera instancia y posteriormente de la actividad fotosintética de la planta.

1.4 Representación espacial del comportamiento del nivel freático

La representación cartográfica del comportamiento del nivel freático, suele resultar la forma más clara de observar sus implicancias. A partir de los sistemas de información geográfica como herramienta de análisis y procesamiento de la información, podemos obtener mapas que además de representar gráficamente el comportamiento de una variable, permiten incluir información complementaria. La estadística espacial describe la estructura y la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural. Posibilita conocer la forma en que varía cualquier variable continua en el espacio (patrón espacial) a una o varias escalas seleccionadas, con un nivel de detalle, que además permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones (Cuador-Gil, 2005; Gallardo, 2006).

Se utilizan interpoladores y métodos de estadística espacial para modelar superficies continuas a partir de datos puntuales y funciones estadísticas para modelar esta variación espacial y posteriormente interpolar en el espacio geográfico el valor de la variable en sitios no muestreados. La calidad de las predicciones estará determinada por los datos de partida y la eficacia de los estimadores.

Los estimadores estadísticos de la familia del kriging ofrecen información sobre la calidad de las predicciones. La fortaleza de la estadística espacial es que esta interpolación es considerada una estima muy robusta ya que se basa en la función continua que explica el comportamiento de la variable georreferenciada de manera isotrópica, es decir en las distintas direcciones del espacio, y que en contraste con otros métodos de interpolación (como por ejemplo interpolar un punto usando los valores de los puntos que le rodean ponderados por la distancia que los separa) permite asociar el grado de incertidumbre (representado por la variabilidad de la estimación) (Isaaks y Srivastava, 1989; Goovaerts, 1997).

La estadística espacial permite por tanto responder a las siguientes preguntas: ¿Cuál es el patrón espacial de las variables de interés? ¿A qué escala se repite este patrón espacial? ¿Cuál es la mejor representación gráfica de la continuidad de la variable? ¿Cuál es el grado de incertidumbre de estas estimaciones? Las respuestas a estas preguntas son siempre dependientes de la escala espacial elegida. A veces, nos encontraremos dos diferentes patrones espaciales (aunque el mayor engloba, y a veces oculta al menor) y dos diferentes grados de incertidumbre que podremos asociar a la respuesta a nivel de individuo (parcela pequeña) o a la respuesta de poblaciones o comunidades a dicha variación (parcela grande).

1.5 La producción de cerezas en Argentina y la Norpatagonia

El cerezo dulce (*Prunus avium L.*) es un árbol de hoja caduca que se desarrolla preferentemente en áreas con clima de tipo templado y requiere tanto de una estación cálida como de un período de reposo vegetativo para producir fruta. Su sistema radical es muy sensible a suelos anegados o con problemas de drenaje lo cual, junto a la presencia de piedras a escasa profundidad, constituye una limitante que se deberá tener en cuenta para el cultivo. La especie tiene sólo entre 60 y 80 días desde la floración hasta la madurez de sus frutos. El crecimiento del fruto, el crecimiento vegetativo y la diferenciación de yemas florales ocurren al mismo tiempo y compiten por los recursos disponibles. Además, al inicio de la primavera, la floración se lleva a cabo en ausencia de hojas, por lo que es totalmente dependiente de las reservas que el árbol haya acumulado en el verano anterior. Esta característica requiere que se realice un manejo muy preciso de la nutrición mineral. Las heladas primaverales y los períodos de lluvia al momento de la cosecha son factores climáticos que limitan la producción (Raffo *et al.*, 2006). Las variedades de cerezas más plantadas en la Norpatagonia son Lapins, Santina, Bing y Sweetheart (SENASA, 2020).

La producción de cerezas en Argentina se concentra en 6 provincias: Mendoza con 661 ha (IDR, 2018), Río Negro con 390 ha y Neuquén con 235 ha; le siguen Chubut con 360 has, Santa Cruz con 200 y Buenos Aires con 50 (Gómez Riera *et al.*, 2014; SENASA, 2020). La diferencia latitudinal entre las provincias productoras posibilita una cosecha extendida durante cinco meses, iniciándose en octubre en Mendoza y finalizando a inicios de febrero en Santa Cruz, con una alta concentración en diciembre (Raffo *et al.*, 2019).

De las 38.446 ha con frutales en la Norpatagonia, 2.837 ha corresponden a frutales de carozo y de ellas, solo 625 ha son de cereza (SENASA, 2020). El incremento de la superficie local implantada con cereza ha sido del 26,7 % en el periodo 2008-2016. Si bien la superficie solo representa el 1,6 % con respecto al total de hectáreas de frutales de pepita y carozo (SENASA, 2020), cabe destacar su relevancia en el aporte al producto bruto geográfico.

En lo que se refiere a exportaciones, la cereza mantiene sus características de producto de contra estación, casi perdidas en los frutales de pepita por el avance en las tecnologías de conservación. En el hemisferio sur, Argentina ocupa el 9º puesto como exportador y el 33º lugar como productor. Compite con Chile que es el segundo exportador mundial y primer exportador del hemisferio sur y con Nueva Zelanda, sexto exportador mundial (Secretaría de Agroindustria, 2019). Los principales destinos son Estados Unidos, China y el Reino Unido, que explican prácticamente el 63% del valor total de las exportaciones argentinas de cereza (Secretaría Agroindustria, 2019).

La región patagónica compuesta por las provincias de Río Negro, Neuquén, Chubut y Santa Cruz goza de una reconocida y valorada identidad a nivel internacional, con un beneficioso estatus sanitario y el mayor volumen de cerezas con destino a la exportación del país. El ingreso total *free on board* (FOB) de cerezas de toda la Patagonia alcanzó los 21 millones de dólares en la temporada 2018-2019, con una proyección de crecimientos al 2020 del 30 %. Tanto el incremento en las exportaciones aéreas (70% del total exportado) como la diversificación de los destinos son significativas no solo para la región sino también para el país (Villarreal *et al.*, 2018). La Patagonia ha pasado a ser la principal región exportadora de cerezas frescas de la República Argentina, con

el 87% del volumen total; de eso, más el 45 % proviene de las provincias Río Negro y Neuquén (Figura 5) (Caminiti, 2019).

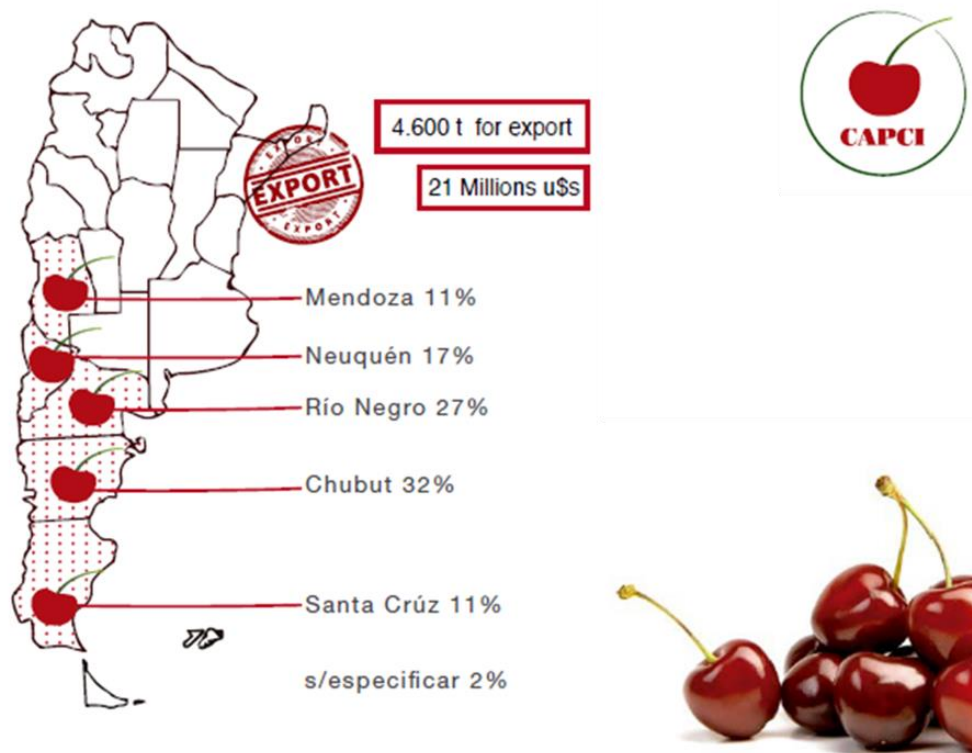


Figura 5. Producción y distribución para la exportación, temporada 2018-2019. Fuente: Caminiti, 2019.

Las superficies implantadas en las provincias de la Norpatagonia presentan una alta concentración y si bien se mantienen relativamente estables, se observa un incremento en la producción en toneladas por hectárea y especialmente en el volumen de toneladas exportadas, que llegó a 2.635 tn en 2017 (SENASA, 2018). En Río Negro, el 65% de las 390 ha de cerezas, está en la localidad de Chimpay mientras que en Neuquén de las 235 ha el 25% se encuentra en la localidad de San Patricio del Chañar y el 54% en Vista Alegre (SENASA, 2018). Esto plantea que la producción de cerezas, por las características de tecnología demandada tanto para la producción como para la comercialización, incluyendo la logística de cosecha y enfriamiento, queda condicionada a segmentos de productores con alta capacidad de inversión. La implantación en alta densidad (hasta 2.600 plantas por hectárea) y los altos rendimientos (de alrededor a las 15 toneladas por hectárea), acompañadas por una importante inversión y adopción en tecnología de cultivos y empaque, permitió desarrollar un nuevo modelo-nicho de producción frutícola, de manejo intensivo y con un claro objetivo exportador (Caminiti, 2014).

Los suelos para el cultivo de cerezos deben ser bien drenados y sueltos y no registrar freática cercana a la superficie durante dos o más meses en el periodo de primavera-verano (Villareal *et al.*, 2006). La especie es poco tolerante a sales (Sánchez, 1999), por lo que se debe considerar la calidad del agua de riego para evitar problemas de salinización del suelo. En el paquete tecnológico propuesto por el sector para la región, la plantación sobre bordos y el riego localizado están incluido casi como un factor excluyente en las recomendaciones técnicas al momento del

desarrollo de los emprendimientos productivos, justificado tanto por la elevada sensibilidad del cultivo a la asfixia radicular como por la posibilidad de reingreso rápido al monte frutal para realizar las diferentes labores culturales. Más del 90 % de la superficie implantada con cerezos en la Norpatagonia cuenta con riego localizado. Los bordos contienen el desarrollo radicular favoreciendo el control del vigor (Villareal *et al.*, 2006). Paralelamente y para compensar una de las mayores limitantes agroclimáticas del cultivo en zonas frías como son las heladas primaverales, en el mismo paquete tecnológico se incorpora la defensa activa de heladas por aspersión.

1.6 Evapotranspiración del cultivo

El consumo de agua de los cultivos puede representarse a través de su evapotranspiración (ETc) en un determinado ambiente y bajo ciertas condiciones de manejo (Pereira *et al.*, 2010). Dicha ETc es la suma de dos procesos: la transpiración de la cubierta vegetal y la evaporación de agua desde el suelo que la soporta (Pereira *et al.*, 2010).

La ETc de los cultivos cerezos puede estimarse en base a registros climáticos periódicos mediante modelos específicos existentes, siendo el método de Penman-Monteith el más ampliamente utilizado y validado. Para su cálculo, se realizan dos pasos: en primer lugar, se calcula la demanda evaporativa, afectada por las condiciones climáticas (es decir, la evapotranspiración de referencia, ETo) y en segundo lugar, se toman en cuenta las especificidades del cultivo mediante el coeficiente de cultivo (kc). Se llega así a la estimación de la ETc máxima de un cultivo bien dotado de agua y sin restricciones en las demás prácticas culturales (Pereira *et al.*, 2010).

La ecuación de Penman-Monteith es una representación simplificada y aproximada de los factores físicos y fisiológicos que regulan el proceso de evapotranspiración, permitiendo tomar en consideración los efectos de las variables climáticas en la evapotranspiración del cultivo de referencia. Los coeficientes de cultivo recogen las respuestas específicas de los diferentes cultivos en sus distintas fases y etapas del ciclo agronómico (Pereira *et al.*, 2010).

El proceso de evaporación por el cual el agua cambia de fase líquida a fase de vapor y pasa desde la superficie evaporante a la atmósfera, requiere grandes cantidades de energía, proporcionada principalmente por la radiación solar. La presión real de vapor es la presión de vapor ejercida por el vapor de agua en el aire. Cuando el aire no se satura, la presión real de vapor será más baja que la presión de vapor de saturación. La diferencia entre la presión de saturación y la presión real de vapor se llama déficit de presión de vapor o déficit de saturación y es un indicador preciso de la capacidad evaporativa real del aire, constituyendo el punto inicial del gradiente de potenciales que genera el movimiento de agua en el continuo suelo - planta - atmósfera.

El principal objetivo de definir la evapotranspiración de referencia (ETo) es poder calcular la demanda ambiental que multiplicada por un coeficiente propio del cultivo (kc), pueda servir para estimar la evapotranspiración (Pereira *et al.*, 2010).

$$ETc = Kc \times ETo$$

El cerezo, al ser un frutal de hoja caduca, presenta una evolución progresiva de sus requerimientos hídricos a lo largo de la temporada de crecimiento. En primavera, la floración, el crecimiento de

brotos y la expansión foliar, hacen que los kc del cultivo tengan un rápido aumento que llega a una meseta a fines de primavera - principio de verano y disminuye al final de la temporada.

1.7 Contenido de agua del suelo

La capacidad de un suelo de retener agua está en función, principalmente, de su textura, contenido de materia orgánica, densidad aparente y composición mineralógica, conjunto de propiedades que define las características del espacio poroso que puede contener agua y la fuerza con la que esta queda retenida. Las constantes hídricas del suelo son entonces valores empíricos que caracterizan el contenido de agua. La humedad de saturación (θ_{sat}) corresponde a la cantidad de agua retenida por el suelo cuando todo el volumen poroso está ocupado. La capacidad de campo (CC o θ_{FC}) es la cantidad de agua que queda en el suelo después de que el exceso se ha escurrido gravitacionalmente y se corresponde con un potencial matricial de entre -10 y -33 kPa. El punto de marchitez permanente (MP o θ_{MP}) se estima por el contenido de agua en el suelo a -1500 kPa de potencial mátrico y se considera que, por debajo de ese límite, las plantas no pueden extraer agua (Pereira *et al.*, 2010).

La cantidad de agua retenida en el suelo entre capacidad de campo y marchitez permanente para una cierta profundidad radicular Z_r , es el agua disponible total en la zona radicular (ADT o TAW, por sus siglas en inglés *Total Available Water*):

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{MP})Z_r$$

Esta capacidad del suelo para retener agua está en función, principalmente, de su composición textural. En la Tabla 1 se presentan valores orientativos de las constantes hídricas de los suelos según las distintas texturas.

Tabla 1. Valores orientativos de contenido de humedad en saturación (θ_{sat}), capacidad de campo (θ_{FC}), punto de marchitez permanente (θ_{WP}) y agua disponible total (TAW), para las clases texturales más frecuentes. Fuente: Pereira *et al.*, 2010.

Clases de texturas	Contenidos de humedad			TAW
	θ_{sat} (m^3/m^3)	θ_{FC} (m^3/m^3)	θ_{WP} (m^3/m^3)	$1000(\theta_{FC}-\theta_{WP})$ (mm/m)
Arenoso	0,32 – 0,42	0,10 – 0,15	0,03 – 0,06	60 – 70
Arenoso-franco	0,32 – 0,47	0,12 – 0,18	0,04 – 0,10	70 – 90
Franco-arenoso	0,34 – 0,51	0,17 – 0,26	0,06 – 0,13	110 – 130
Franco	0,42 – 0,51	0,22 – 0,31	0,09 – 0,16	130 – 150
Franco-limoso	0,42 – 0,55	0,23 – 0,34	0,08 – 0,15	150 – 190
Limoso	0,42 – 0,55	0,30 – 0,32	0,09 – 0,11	200 – 220
Franco-arcillo-limoso	0,40 – 0,49	0,20 – 0,30	0,13 – 0,19	80 – 120
Franco-arcilloso	0,47 – 0,51	0,28 – 0,38	0,16 – 0,22	120 – 160
Franco-limo-arcilloso	0,49 – 0,53	0,32 – 0,40	0,16 – 0,23	160 – 180
Arcillo-arenoso	0,47 – 0,53	0,28 – 0,40	0,20 – 0,30	90 – 100
Arcillo-limoso	0,49 – 0,55	0,38 – 0,50	0,22 – 0,36	150 – 160
Arcilloso	0,51 – 0,58	0,39 – 0,55	0,30 – 0,45	100 – 130

Los datos de agua disponible total suelen no ser suficientes, ya que no tienen en cuenta el patrón de extracción de agua radicular ni la demanda atmosférica, resultando relevante además de la cantidad de agua que contiene el suelo, su disponibilidad (Campbell, 2008).

A medida que el nivel de agua del suelo se va agotando, se alcanzan valores cada vez más bajos de potencial que alteran el gradiente para responder a la tasa evaporativa hasta que el cultivo entra en estrés hídrico. Esto ocurre para un umbral de potencial agua del suelo y del cultivo específicos. La situación de estrés crecerá hasta el límite del punto de marchitez permanente, representado por tensiones de suelo de -1,5 MPa equivalentes a -1500 kPa. Las consecuencias fisiológicas del estrés sufrido por el cultivo, afectan la respiración, la fotosíntesis y la asimilación de agua, por lo que no se espera alcanzar ese momento crítico para restituir el contenido de agua del suelo, sino que se debe considerar la fracción de agua extraíble sin causar estrés. Esto se denomina factor de agotamiento permisible (p) o agua fácilmente disponible, utilizable, aprovechable o extraíble (AFA, AFU o RAW, por sus siglas en inglés *Readily Available Water*):

$$AFA = p ADT = p 1000 (\theta_{CC} - \theta_{PMP})Z_r$$

El factor de agotamiento, en el caso de los riegos gravitacionales, está en función de la clase textural del suelo, la profundidad radicular del cultivo y las condiciones atmosféricas (Pereira *et al.*, 2010). Los valores de p serán mayores a tasas bajas de ETc (Allen *et al.*, 2006) y podrán variar de acuerdo al estado de desarrollo del cultivo. El coeficiente p representa la tasa de extracción de agua por parte de las raíces, pudiendo asignarse un valor de referencia para cultivos frutales asociado también a la profundidad de exploración. De acuerdo a lo propuesto por Allen *et al.* (2006), el valor de p para cerezos será de 0,5. Sin embargo, en el manejo del riego localizado, la reposición del agua consumida por el cultivo se realiza con mayor frecuencia, con el objetivo de mantener un alto contenido de humedad (cercano a capacidad de campo) en la zona del bulbo húmedo y sin considerar el almacenamiento de agua que tenga el suelo. El sistema radicular de las plantas se desarrolla de acuerdo al patrón morfológico propio de la especie y según las condiciones del suelo (Nolting, 1976). El crecimiento y la distribución de las raíces es limitado en suelos superficiales, estratificados, compactados o muy húmedos (Sheridan, 2015). Para las condiciones del Alto Valle, se da una combinación de factores que afecta el desarrollo de las raíces, recomendándose el estudio del crecimiento de las mismas en cada situación, ya que si bien en numerosos estudios en manzano y peral el 75% del total de los ápices radiculares se encontraron hasta los 0,80 m (Aruani, 2009), también se encontraron raíces desarrolladas a profundidades mayores de entre 1,40 m y 1,80 m en sitios con suelos de costa, de textura arenosa, sin problemas de drenaje ni acumulación de sales (Nolting, 1976; Bestvater y Casamiquela, 1983).

La tensión o succión de humedad del suelo se puede medir en condiciones controladas aplicando diferentes presiones de desplazamiento de agua a muestras de suelo previamente saturadas (Grassi, 1998). Se obtienen así las curvas de capacidad hídrica que determinan el contenido de agua que puede extraerse de un suelo de acuerdo a la succión que se ejerza sobre el mismo. Esto establece una correlación entre la cantidad de agua del suelo, expresada como contenido de agua y su disponibilidad, representada por un valor de potencial. En las metodologías de laboratorio más utilizadas, se emplea instrumental específico para ejercer succiones que representen los puntos empíricos típicos del contenido de agua del suelo a partir de los cuales se definen las constantes hídricas. Estas permiten tener valores de referencia para poder, sabiendo el contenido de agua del suelo, interpretar en qué grado el agua estará disponible para las plantas.

La medición del contenido de agua del suelo puede realizarse con un sinnúmero de métodos e instrumentos entre los que se cuentan el muestreo gravimétrico, la sonda de neutrones, los tensiómetros y los psicrómetros, entre otros. Cada uno de ellos presenta ventajas y dificultades, por lo que el método e instrumental seleccionados deberá adaptarse a lo necesario para cada caso de estudio. El muestreo gravimétrico constituye un método directo de medición de agua en el suelo con la ventaja de ser económico y de sencilla determinación. Sin embargo, no puede ser automatizado, es destructivo y su ejecución consume mucho tiempo (Vita Serman *et al.*, 2006).

Los métodos dieléctricos, indirectos, que incluyen sensores de capacitancia FDR, alta frecuencia, radio frecuencia, microondas y TDR, entre otros, suelen ser precisos, aunque costosos. Los sensores de humedad de suelos del tipo capacitivos o de *Frequency Domain Reflectometry* (FDR) se basan en la variación de la constante dieléctrica del suelo con la incorporación de agua y transmiten la medición digitalmente, siendo posible el registro continuo de los datos (Vita Serman *et al.*, 2006; Campbell, 2008).

1.8 Balance hídrico

Las necesidades netas de agua para el riego se estiman mediante el balance hídrico del terreno cultivado. El método recoge las entradas y las salidas de agua de una parcela, que inciden directamente en el proceso de evapotranspiración del cultivo. Entre las entradas de agua, figuran la precipitación, el riego, las reservas de agua del perfil del suelo y el agua aportada por ascenso capilar desde las capas más profundas a la zona del perfil donde el sistema radicular es efectivo en cuanto a la absorción de agua. Entre las salidas, se cuantifican la evapotranspiración del cultivo, que representa su consumo de agua, la percolación de agua más allá de la profundidad efectiva de desarrollo del sistema radicular y la escorrentía superficial (Figura 6).

Según Pereira *et al.* (2010) la ecuación general del balance hídrico en la zona de enraizamiento para un intervalo de tiempo está dada por:

$$(\Delta S + \Delta V) = (P + I + GW) - (Q_r + DP + E + T)$$

Dónde: ΔS , es la variación de la reserva de agua en el suelo; ΔV , es el incremento de agua incorporada en las plantas (agua de constitución); P, es la precipitación; I, es la dosis de riego; GW, es el flujo acumulado de ascenso capilar en el periodo de tiempo analizado; Q_r , es la escorrentía superficial en ese mismo periodo; DP, es el flujo acumulado de drenaje por percolación profunda; E, es la evaporación a partir del suelo; y T, es la transpiración de las plantas.

En condición de cultivos bajo riego en la ecuación general presentada se simplifican los términos correspondientes al incremento de agua incorporada en las plantas o agua de constitución (ΔV) y escorrentía superficial (Q_r), resultando la ecuación general del balance hídrico la siguiente:

$$(\Delta S) = P + I - DP - E - T + GW$$

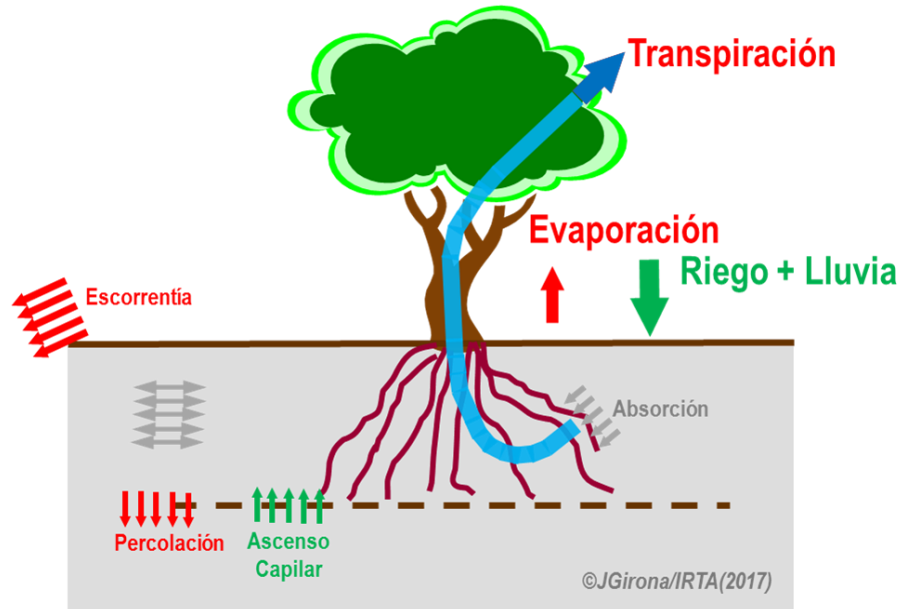


Figura 6. Esquema del balance hídrico en la zona de enraizamiento, adaptado de Girona, 2017.

Si bien la mayor parte de la superficie productiva de la región del Alto Valle se riega por escurrimiento superficial, en el caso del cultivo de cerezo las recomendaciones técnicas indican la plantación sobre bordos y la utilización de riego localizado (Villarreal *et al.*, 2006). Tanto el riego por goteo como la micro aspersión evitan la inundación del suelo y generan un bulbo húmedo en el que las raíces obtienen el agua y los nutrientes necesarios. De acuerdo al tipo de suelo, se recomienda uno u otro sistema. Con los métodos de riego localizado, se estima que el volumen de suelo que se moja es del 40 %. El tamaño y la forma del bulbo húmedo varían con la textura, el caudal del emisor y el tiempo de riego conformando diferentes patrones de acuerdo a la combinación de los factores mencionados (Pereira *et al.*, 2010; Podestá, 2015), que se presentan en la Figura 7.

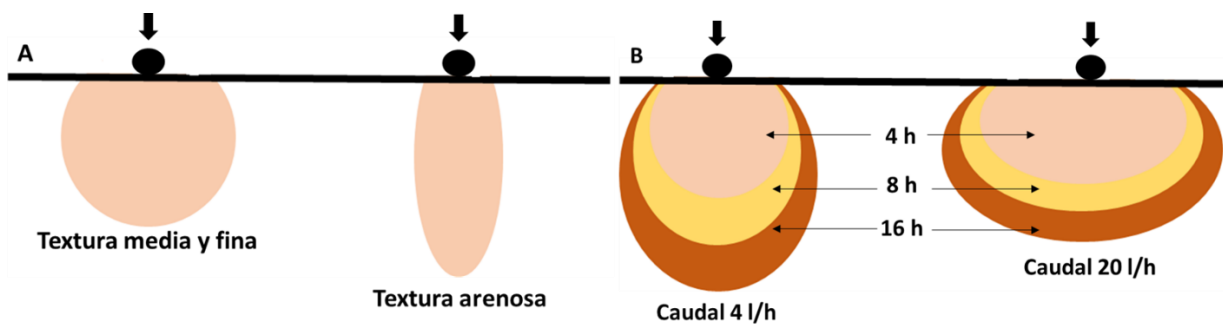


Figura 7: Tamaño y forma teóricos del bulbo húmedo en relación A) a la textura del suelo, adaptado de Pereira *et al.* (2010) y B) al caudal de los emisores y tiempo de riego, adaptado de Podestá (2015).

El diseño agronómico del riego localizado es necesario para lograr un volumen de suelo humedecido adecuado y evitar la salinización del perfil (Pizarro, 1996), especialmente en zonas

áridas y con freática superficial como el Alto Valle. Es importante diferenciar los cálculos necesarios para el diseño, en el que se utilizan los requerimientos de agua máximos o punta y la programación anual, para la que pueden usarse series climáticas con valores medios.

Para el cálculo de las necesidades netas de agua en riego por goteo, deben considerarse la eficiencia de aplicación, la necesidad de lavado y el coeficiente de uniformidad. La eficiencia de aplicación se refiere a la cantidad de agua que se repone con un riego, en relación con el agua disponible. En el caso de los riegos localizados, se evalúa la pérdida de agua por percolación, asumiendo valores tabulados de acuerdo a la profundidad de las raíces (a mayor profundidad, menor posibilidad de pérdida de agua) y a la textura del suelo. La necesidad de lavado o requerimiento de lixiviación representa el agua extra que se debe agregar para evitar la acumulación de sales. El estudio de esos dos factores, se realiza en forma conjunta, ya que se utilizará para el cálculo el mayor de los dos. Los emisores de una instalación suministran caudales que no son exactamente iguales entre sí. El coeficiente de uniformidad eleva la dosis media de riego para que los sectores menos regados reciban la cantidad de agua necesaria (Pizarro, 1996; Podestá, 2015).

El cálculo de la necesidad total de agua que deberá suministrarse a un cultivo regado por goteo, puede estimarse a partir de la siguiente fórmula, adaptada de la metodología de Pizarro:

$$Nt = \frac{Nn}{(1 - K)CU}$$

Dónde: Nt son las necesidades totales de riego; Nn , son las necesidades netas de riego (corresponden a la ET_c , ver apartado 1.6); K , es la eficiencia de aplicación (calculada como $1 - E_a$) o el requerimiento de lixiviación, lo que resulte mayor; CU , es el coeficiente de uniformidad.

El manejo del riego por goteo, en el que se intenta mantener la zona del bulbo húmedo a capacidad de campo, limita el ascenso capilar y hace que su estimación para ser incorporado al balance hídrico presente ciertas complejidades. A pesar de ello, para la programación anual del riego deberían considerarse los aportes de agua capilar de acuerdo a las condiciones que se dan en el riego localizado. Para poder cuantificar el término que representa al flujo capilar (GW), se deben entender los conceptos básicos que rigen el movimiento de agua en el suelo: en flujo saturado, en flujo no saturado y en forma de vapor. El movimiento del agua en condiciones no saturadas, también se denomina movimiento capilar e incluye el movimiento de ascenso capilar desde una capa freática. En condiciones de saturación, el agua que por exceso no puede ser retenida por la matriz del suelo, recibe el nombre de agua gravitacional o agua de drenaje. El flujo de agua líquida tanto si el suelo está saturado como si no lo está, responde a un gradiente de potencial (Pereira *et al.*, 2010).

La conductividad hidráulica es la propiedad más importante que afecta al flujo de agua y transporte de solutos en el suelo. Determina las tasas máximas de infiltración en condiciones de saturación, la capacidad de campo, el flujo de agua en suelo no saturado, la resistencia al flujo de agua hacia las raíces y el drenaje de un suelo saturado. La conductividad hidráulica hace referencia al factor de proporcionalidad de la ley de Darcy aplicada al flujo viscoso de agua en el suelo (Pereira *et al.*, 2010). Esta ley aplicada a un medio poroso no saturado, como es el suelo, expresada en forma diferencial, y en un sistema unidimensional, describe la densidad de los flujos de drenaje y ascenso capilar:

$$J_w = -K(\theta) \frac{d\Psi}{dz}$$

ó

$$\varphi_z = -K(\theta) \frac{dH}{dz}$$

Dónde: J_w , es la densidad del flujo de agua ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); $K(\theta)$, es la conductividad hidráulica, que es función del contenido de agua (θ) en el suelo ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); $\frac{d\Psi}{dz}$: es el gradiente de potencial de agua en el suelo ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$); φ_z , son los flujos de drenaje y de ascenso capilar ($\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$); $K(\theta)$, conductividad hidráulica ($\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$); H , es la carga hidráulica (energía potencial por unidad de paso, expresada frecuentemente en altura equivalente de agua, m); y dH/dz , es el gradiente hidráulico, cuyo signo define el sentido del movimiento del agua en el suelo.

El flujo capilar depende del tipo de suelo, el agotamiento de la humedad del suelo en la zona radicular, la profundidad de la napa freática y la recarga. La evapotranspiración agota el contenido de agua del suelo en la zona radicular. Cuando no se produce recarga por riego o lluvia, una diferencia de potenciales induce el ascenso capilar del agua subterránea (Raes *et al.*, 2002). En la zona no saturada el potencial mátrico causado por la interacción entre la matriz del suelo y el agua, es negativo, mientras que la tabla de agua subterránea, se encuentra a presión atmosférica y su potencial es 0. El agua se mueve desde zonas con potencial alto a zonas con potencial más bajo, por lo que el ascenso de agua desde la freática hacia la zona radicular tiene lugar bajo la influencia de esta diferencia de potenciales (Figura 8) y puede calcularse aplicando la Ley de Darcy (Pereira *et al.*, 2010).

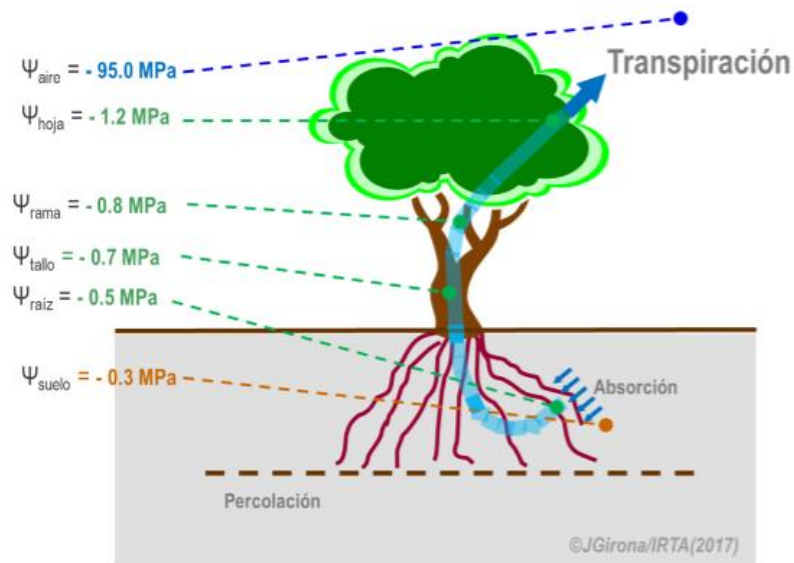


Figura 8. Gradiente de potenciales posibles en el continuo suelo-planta-atmósfera, adaptado de Girona, 2017.

A pesar de que el movimiento de agua en la zona no saturada es en realidad inestable, los cálculos pueden simplificarse asumiendo el estado estable del flujo durante un cierto período de tiempo.

El ascenso de agua por capilaridad suele no cuantificarse en la ecuación del balance hídrico del suelo. Sin embargo, su aporte al proceso evapotranspiratorio tiene alguna significación en determinadas condiciones. En otros casos, el ascenso capilar se ve como un problema cuando crea situaciones de falta de aire en el sistema radicular o favorece procesos de salinización progresiva (Grassi, 1998).

En las condiciones de napa freática superficial que se presentan en el Alto Valle resulta necesario determinar en qué situaciones hay un aporte de agua que beneficia a los cultivos y en cuales resulta un problema o un riesgo. En sitios con freática cercana a la superficie y suelos de texturas finas, es posible estimar un valor medio para los flujos diarios de ascenso capilar en función de la profundidad de la freática y los contenidos de humedad de la zona radicular (Raes *et al.*, 2002). En frutales con riego gravitacional se han estimado aportes por capilaridad de hasta el 75% de la demanda de los cultivos (Mañueco *et al.*, 2018; Aruani y Galeazzi, 2019).

1.9 Respuesta fisiológica de frutales a condiciones de saturación del suelo

La saturación del perfil del suelo o parte de él, provoca alteraciones tanto del suelo como de las plantas. Los árboles frutales son capaces de extraer agua del suelo dentro de un rango de contenido de humedad determinado empíricamente por los puntos de capacidad de campo y de marchitez permanente. Puede considerarse que ocurre saturación del suelo cuando el nivel de humedad excede el punto de capacidad de campo, más precisamente cuando el agua llena los espacios de aire del suelo restringiendo el intercambio gaseoso con la atmósfera hasta que los procesos oxidativos normales, tanto químicos como biológicos son inhibidos (Rowe y Beardsell, 1973).

El exceso de agua puede ser el resultado de una lluvia intensa, de sobre irrigación, del desborde de cursos de agua, de la infiltración de los canales de riego o de agua proveniente del subsuelo. Es más probable que la saturación del perfil o parte de él sea un problema en suelos arcillosos y pesados o en aquellos que presentan horizontes impermeables o generan napas de agua que se extienden por la zona radicular, lo que ocurre no solo en áreas lluviosas sino también en regiones áridas en las que se practica la agricultura bajo riego (Rowe y Beardsell, 1973; Kozłowski, 1997;). Los diferentes contenidos de oxígeno presentes en el suelo, pueden definirse como: normoxia (contenido de oxígeno suficiente), anoxia (contenido de oxígeno nulo) e hipoxia (bajo contenido de oxígeno) (Moreno y Fischer, 2014). Por lo tanto, el término saturación, se refiere a cualquier condición entre la hipoxia y la anoxia, en la que el suelo presenta valores de oxígeno menores a los normales.

El grado de saturación es una determinación empírica y puede ser establecido con precisión en términos de la respuesta de las plantas y su efecto dependerá en gran manera de la especie y su tolerancia a la asfixia radicular. La saturación del perfil del suelo puede afectar su estructura, disminuir el oxígeno disponible y causar acumulación de CO₂. En general, los cultivos requieren suelos bien drenados para alcanzar su máximo crecimiento y productividad.

En los frutales de hoja caduca, la tolerancia a la asfixia radicular varía según la especie y el cultivar, el portainjerto, la edad de las plantas, la época y duración de la saturación del perfil y las características del agua que la producen (Kramer y Kozłowski, 1979; Olien, 1989; Kozłowski, 1997). No todas las especies de árboles o los árboles de la misma especie en diferentes

condiciones o localidades son afectados de igual forma por un exceso de agua en el suelo (Rowe y Beardsell, 1973; Schaffer *et al.*, 2006; Pallardy, 2008).

Todas las especies del genero *Prunus* resultan más sensibles a esta condición de estrés que otros frutales de hoja caduca (Rowe y Beardsell, 1973; Kozlowski, 1997; Moreno Sánchez *et al.*, 2008; Moreno y Fischer, 2014). Los durazneros y cerezos son severamente afectados si se los somete a condiciones de anegamiento, mientras que comparativamente, los manzanos y perales son más resistentes (Rowe y Beardsell, 1973). Moreno y Fischer (2014) reportan que tanto el palto como el duraznero exigen un 15 % de oxígeno en la solución del suelo, mientras que el manzano y el peral resisten hasta un 5%.

Moreno *et al.* (1996) reportaron que *Prunus mahaleb* (Santa Lucia) y su clon Santa Lucia 64, si bien son ampliamente utilizados en suelos gravillosos, bien drenados, secos y calcáreos resultan inadecuados para suelos pesados o sometidos a situaciones de anegamiento asociándose la mortandad de plantas a la sensibilidad a la asfixia radicular del portainjerto.

Considerando la complejidad de los cambios causados por la saturación en la zona radicular, no resulta sorprendente que el normal crecimiento y desarrollo de las plantas se vea adversamente afectado. La respuesta de la planta incluye alteraciones en el metabolismo, reducción del crecimiento vegetativo y reproductivo, curvatura de hojas y peciolo seguida de marchitez, amarillamiento y defoliación prematura empezando por las hojas más viejas, ennegrecimiento y muerte de raíces a veces acompañada por podredumbre de la base del tronco, pérdida de la producción y muerte de las plantas en casos severos (Rowe y Beardsell, 1973; Shaffer *et al.*, 1992; Moreno y Fischer, 2014; Ziegler *et al.*, 2017).

Entre las reacciones más inmediatas, se observa el cierre estomático, la disminución de la tasa fotosintética y la inhibición del transporte de carbohidratos que afecta la acumulación de reservas (Kozlowski, 1984; Beckman *et al.*, 1992; Schaffer *et al.*, 2006; Ashraf, 2012). En una primera etapa, en plantas expuestas a estrés por exceso de agua, se incrementa la resistencia estomática y se limita la absorción de agua y nutrientes, generando un déficit hídrico interno (Parent *et al.*, 2008). La deficiencia de oxígeno también disminuye la tasa neta de fotosíntesis, respuesta que se atribuyen al cierre estomático (Ashraf, 2012). Entre los efectos adversos del exceso de agua en el intercambio gaseoso reportados por Ashraf y Arfan (2005), se describe el control del intercambio de CO₂ a través de la regulación estomática, que también controla en cierta medida, el potencial hídrico. Sin embargo, hay resultados contrapuestos según la especie en estudio en cuanto a la contribución de la regulación estomática en el mantenimiento del status hídrico de la planta (Ashraf, 2012).

Está probado que el exceso de agua presenta efectos más severos durante la temporada de crecimiento que en el período dormante. También se sabe que la severidad del anegamiento se incrementa con el aumento de la temperatura de la zona radicular (Kozlowski, 1997; Nicolás *et al.*, 2005; Moreno Sánchez *et al.*, 2008). Rowe y Beardsell (1973) describen una reducción en el crecimiento de raíces y brotes en manzanos, ciruelos y durazneros, siendo el desarrollo de las raíces el más afectado. Se ha determinado que sistemas radiculares superficiales, horizontalizados y esparcidos son característicos de sitios con napas freáticas elevadas, debido a la inhibición de la formación, ramificación y crecimiento de las raíces (Kozlowski, 1997).

La calidad de los frutos también puede ser afectada ya que como consecuencia del anormal desarrollo de raíces se modifica el traslado de agua y nutrientes a la parte aérea (Moreno y Fischer, 2014).

Los ciclos estacionales de carbohidratos están particularmente bien definidos para muchos frutales de hoja caduca. El contenido total de carbohidratos en tallos y ramas alcanza un máximo en el momento de caída de hojas, comienza a disminuir a finales de invierno y decrece rápidamente a principios de primavera cuando los carbohidratos van agotándose por el incremento de la respiración y el crecimiento de nuevos tejidos (Kramer y Kozloski, 1979; Sivaci, 2006;). Condiciones de suelo saturado que afecten el funcionamiento de las plantas podrían modificar esta dinámica.

Conocer la respuesta a las condiciones estacionales de suelos saturados de los cultivos frutales de la zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, permitirá ajustar las estrategias de manejo para el cultivo de cerezos (tiene que haber un aporte de esto en las conclusiones) definir la aptitud de los sitios y promover la sustentabilidad de los cultivos. Se estudiará también el aporte al balance hídrico que puede hacer una napa freática de buena calidad y su impacto en el crecimiento y desarrollo del Cerezo cv Santina, exaltando que hay pocos estudios en la zona que aborden estos aspectos.

2 Objetivos e hipótesis

2.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento a escala de detalle del nivel freático en áreas piloto del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, su incidencia en el balance hídrico del suelo y el desarrollo del cultivo de cerezos en condiciones de freática superficial estacional.

2.1.1 Objetivos específicos

- Modelar el comportamiento de los niveles freáticos a lo largo del ciclo productivo en sucesivas temporadas en un área piloto del Alto Valle de Río Negro y Neuquén a escala de detalle.
- Cuantificar el aporte capilar de agua al balance hídrico de la zona radicular del perfil del suelo desde una freática poco profunda.
- Caracterizar y evaluar el desarrollo de cerezos cv Santina/Santa Lucía 64 en un establecimiento productivo con freática estacional superficial.

2.2 Hipótesis general

Los niveles de la napa freática del Alto Valle de Río Negro y Neuquén son críticos en primavera, aumentan los aportes de agua al balance hídrico del suelo e inciden negativamente en el desarrollo del cultivo de cerezos.

2.2.1 Hipótesis específicas

- Las variaciones estacionales en el nivel freático producen niveles superficiales críticos en primavera.
- El aporte capilar de agua freática incide positivamente en el balance hídrico del suelo de manera directa.
- Los cerezos (*Prunus avium* L.) cv. Santina/Santa Lucía 64 son susceptibles a las condiciones de saturación de suelo ocasionada por niveles freáticos estacionales poco profundos.

3 Materiales y Métodos

De acuerdo a lo planteado en las hipótesis de trabajo y siguiendo los objetivos específicos, se buscó a partir de mediciones y ensayos determinar el comportamiento estacional del nivel freático en un área piloto a escala de detalle, evaluar si hay aporte capilar de agua hacia la zona radicular desde la freática y cuantificarlo como parte del balance hídrico del suelo y evaluar el crecimiento y desarrollo de cerezos cv Santina injertados sobre Santa Lucia 64 en un sitio con freática estacional poco profunda, considerando la ocurrencia de condiciones de saturación del perfil del suelo.

Para ello, se seleccionaron dos sitios de estudio: el área piloto EEA Alto Valle, para el estudio freatimétrico a escala de detalle y el establecimiento productivo La Deseada ubicado en la localidad de Allen para evaluar el efecto de la variación estacional de los niveles freáticos en el cultivo de cerezos y cuantificar el aporte de agua capilar hacia la zona de las raíces del cultivo (Figura 9).

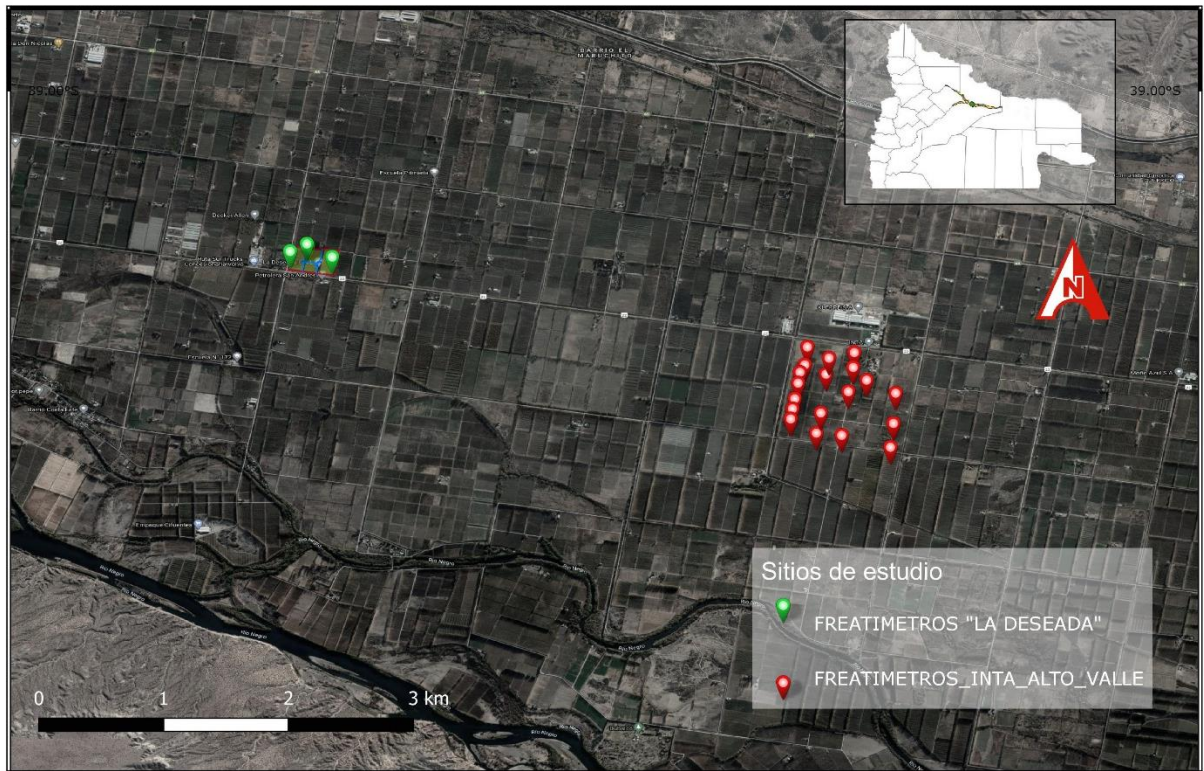


Figura 9. Sitios de estudio seleccionados en el Alto Valle del río Negro.

3.1 Comportamiento del nivel freático en un área piloto

3.1.1 Monitoreo de los niveles freáticos

Con el objetivo de registrar las variaciones del nivel freático e identificar áreas y momentos críticos a escala de parcela, se instalaron en septiembre de 2012, 22 pozos de observación o freatímetros en las 100 hectáreas que conforman la chacra número 106 de la Estación Experimental

Agropecuaria Alto Valle, ubicada en la localidad de Contralmirante Guerrico, provincia de Río Negro (39° 01 00 S; 67° 40 00 W; altitud 242 msnm). Cada freaímetro representa 4,5 ha.

Los freaímetros se construyeron con caños de PVC de 110 mm de diámetro y 2 m de largo y se ranuraron longitudinalmente en el metro inferior. Los pozos se hicieron con una hoyadora de 1,20 m y se terminaron manualmente con una pala barreno logrando una profundidad de 1,5 m a 2 m, dependiendo de las particularidades presentadas durante la instalación en cada punto (variabilidad de la textura, presencia de grava, capas endurecidas y profundidad freática). No se consideró necesario alcanzar una mayor profundidad al momento de la instalación de los freaímetros, dado que se apunta al monitoreo de los niveles freáticos que pueden afectar, de alguna manera, a los árboles frutales en su zona de exploración radical.

Para definir la ubicación de los freaímetros se diagramó una cuadrícula. La superficie de la EEA Alto Valle constituye una unidad de riego de 100 ha, de 1000 metros por 1000 metros por lo que para la colocación de los mismos se utilizó la grilla propuesta (Figura 10). Por cada transecta con sentido norte – sur, se colocaron entre 4 y 8 puntos de observación. Se tuvo en cuenta la presencia de un canal secundario lindero con el lateral oeste del predio, que es el que abastece de agua de riego a la chacra de la experimental que podría ser una fuente de recarga, por lo cual se duplicaron los puntos de observación con respecto a las demás transectas de la grilla. Se pensó en colocar inicialmente 23 puntos de medición. Solo en uno de los puntos previstos no pudo colocarse el freaímetro por la presencia superficial de grava, por lo que se trabajó con 22 puntos. A medida que se avanzó con las mediciones, se consideró que la densidad de las lecturas resultaba adecuada, dada la validación inicial realizada mediante la estadística espacial.



Figura 10. Distribución de freaímetros en el predio de la EEA Alto Valle.

Cada freatímetro fue georreferenciado con coordenadas Gaus-Kruger (coordenadas X, Y) y acotado tomando como referencia el nivel del mar (coordenada Z) a partir de un relevamiento planialtimétrico para el cual se utilizaron los puntos fijos de referencia del Instituto Geográfico Militar existentes en la EEA Alto Valle. La nivelación se realizó con un nivel óptico Carl Zeiss – West Germany, modelo Ni21.

Las lecturas de nivel freático se realizaron con distinta frecuencia de acuerdo a la época: semanalmente en primavera y mensualmente el resto del año, teniendo en cuenta el comportamiento estacional observado por Galeazzi *et al.* (2005), Álvarez *et al.* (1995), Horne *et al.* (1992) y CIL–AyEE (1990). Se midió el nivel con una sonda acústica o “popper”, fabricada con una cinta métrica de 2 m y una campana metálica.

Las mediciones realizadas a campo se consignaron en las planillas como “lecturas de nivel freático”. A las mismas se les descontó la altura de caño sobresaliente, obteniendo la “profundidad de nivel freático”. Al vincular cada lectura con la cota del freatímetro, se obtuvo el “nivel freático”. Se convinieron los siguientes supuestos: cuando el freatímetro no marcó nivel de agua, se consignó como “seco”, que es particular para cada punto y se encuentra entre 1,44 m y 1,73 m de acuerdo a la profundidad de instalación. Para los freatímetros fuera de servicio por taponamiento o rotura, o para cualquier otro caso en el que no se hubiese podido consignar algún valor se registró como dato faltante o “sin dato”.

Con el registro de profundidades freáticas de los años 2012-2016 se confeccionaron las tablas de “Profundidad freática años 2012-2016”, correspondientes al área de la EEA Alto Valle, obteniéndose los mapas de Isopropfundidades o Isobatas.

De todas las lecturas realizadas, se seleccionaron las fechas más representativas para cada periodo crítico de interés (marzo, junio, septiembre y diciembre) y se elaboraron los mapas para cada estación (Anexo I: tabla fechas seleccionadas para mapeo).

Dado que la altura crítica de la napa depende de numerosos factores tales como la textura del suelo, el tipo de régimen hídrico (permanente o transitorio) y el tipo y sensibilidad del cultivo, entre otros, se tomaron en cuenta las características locales y se tomó como umbral crítico del nivel freático 1,20 m según las referencias de Ortiz Maldonado y Carmona (2008), Álvarez *et al.* (1995), Horne *et al.* (1992) y FAO (1979).

3.1.2 Modelado espacial del comportamiento de la profundidad del nivel freático

Los datos de nivel freático se trabajaron como variable regionalizada. Se representó el comportamiento de la variación estacional de la profundidad del nivel freático a través de los mapas generados con el software ARC Gis (ESRI, 2011).

La geoestadística aplica por definición la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales (Journel y Huijbregts, 1978). Los fenómenos distribuidos en el espacio presentan un carácter mixto, un comportamiento caótico o aleatorio a escala local, pero a la vez estructural a gran escala. Tomando el nivel freático como variable aleatoria regionalizada, fue el grado de correlación el que reflejó su continuidad y comportamiento en el espacio. La validación se realizó a través del *krigeado*, que permitió una adecuada estimación del

comportamiento freático a partir de datos observables. Se utilizaron las características de variabilidad y correlación espacial del nivel freático y se realizó un análisis descriptivo previo de la información para proponer un modelo que represente adecuadamente su continuidad espacial.

La metodología de obtención de los mapas a partir del análisis de los fundamentos de la geoestadística, permite obtener un resultado robusto y confiable, que representa de la forma más conveniente el comportamiento de la variable regionalizada, la profundidad del nivel freático.

El primer paso para un análisis de estadística espacial es el análisis exploratorio (Goovaerts, 1997), por lo que se realizó un análisis estadístico descriptivo para estudiar la distribución de los datos freaticométricos, estimándose las medidas de tendencia central, forma y dispersión.

Para el análisis exploratorio básico de los datos de profundidad del nivel freático, se realizó una prueba de normalidad utilizando el Test de Shapiro–Wilks, considerado como uno de los más potentes para el contraste de normalidad, sobre todo para muestras pequeñas ($n < 50$).

El ajuste de un modelo o modelado espacial, también se conoce como análisis estructural o variografía, dado que se realiza a partir de la variabilidad absoluta y relativa del sistema. La representación gráfica de todas las varianzas, entendida como la varianza entre pares separados por intervalos de distancia h , se conoce como variograma o semivariograma (γ), dada la simetría que hay en el comportamiento de las mismas, y se estima como:

$$\gamma(h) = 1/2 N(h) \sum [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2$$

Donde, $\gamma(h)$ es la semivarianza para todas las muestras localizadas en el espacio separado por el intervalo de distancia h ; $N(h)$, es el número total de pares de muestras separados por un intervalo de distancia h ; $Z_{(x)}$ es el valor de la muestra en una localización x , la variable regionalizada y $Z_{(x+h)}$ es el valor de la muestra a la distancia de intervalo h desde x .

En el modelado espacial de la estructura de los puntos medidos, que representan a escala de detalle el comportamiento del nivel freático, se comenzó con un gráfico del semivariograma empírico que representa la función básica que describe su variabilidad espacial. El semivariograma responde a la pregunta: ¿Cómo de parecidos son los puntos en el espacio a medida que estos se encuentran más alejados? ¿Se mantendrá el mismo nivel de freática en el espacio a escala de predio?

Se ajustó una función, determinando un modelo asociado a los puntos del semivariograma empírico. El modelado del semivariograma es un paso clave entre la descripción espacial y la predicción espacial. La aplicación principal del *kriging* es la predicción de los valores de atributo en las ubicaciones que no fueron muestreadas, constituyendo una técnica de interpolación de datos. Como el semivariograma empírico proporciona información sobre la autocorrelación espacial de los datos, pero no suministra información para todas las direcciones y distancias posibles, fue necesario ajustar un modelo al semivariograma empírico, para cuantificar el grado y escala de la variación espacial y asegurar que las predicciones de *kriging* tengan desviaciones positivas.

Al ajustar un modelo al semivariograma empírico (Figura 11), fue necesario seleccionar la función que mejor interprete el comportamiento del nivel freático. El ajuste a una función permite extraer una serie de parámetros que serán usados para la interpolación (*krigeado*) y que definen el grado

y escala de la variación espacial. Estos parámetros son el rango (lag , A_0), la ordenada al origen conocida como el efecto pepita ($nugget$, C_0), la meseta ($sill$, C_0+C) y la proporción de la varianza explicada por el espacio (C/C_0+C), a menudo expresada en porcentaje para facilitar su interpretación (Gallardo, 2006; Paramá, 2006).

El rango o lag es la distancia máxima de la totalidad de la distancia en el espacio donde se consideró que la variabilidad explica la dependencia del comportamiento de la profundidad del nivel freático, representando el punto en el que la semivarianza deja de aumentar y se estabiliza. El rango, por tanto, indica la distancia máxima a partir de la cual las muestras son o comienzan a ser espacialmente independientes unas de otras.

El efecto pepita o $nugget$ es la varianza no explicada por el modelo y se calcula como la intercepción con el eje Y. Se conoce también como varianza del error, puesto que la varianza de dos puntos separados por cero metros debería ser nula. Es por ello que esta varianza está normalmente indicando variabilidad intrínseca, variabilidad a una escala inferior a la muestreada. Además, los errores analíticos o de muestreo también contribuyen a la forma de la varianza del error.

La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos se conoce como meseta o $sill$ y debería coincidir con la varianza de la población. La meseta indica el grado de variación espacial total, y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un alto cociente indica una variable espacialmente muy predecible, así como un bajo cociente indicaría una variable “inmanejable” por su alta aleatoriedad.

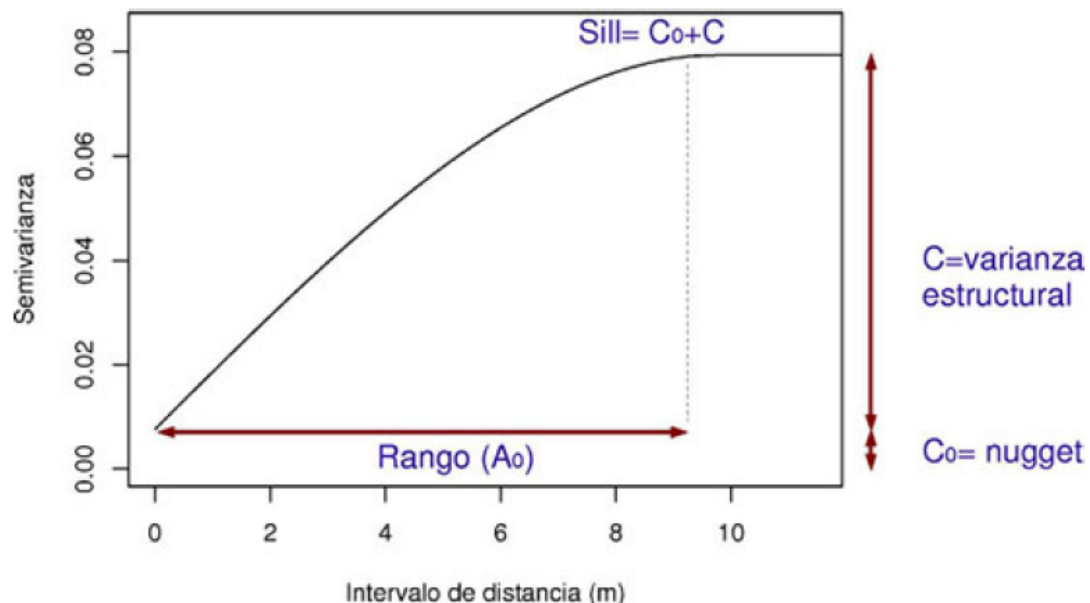


Figura 11. Parámetros utilizados en el ajuste del semivariograma a funciones matemáticas. Fuente: Gallardo, 2006.

Los criterios para seleccionar un modelo u otro dependen de los objetivos del trabajo. En el caso del comportamiento del nivel freático, teniendo información *a priori*, se realizó un ajuste manual

del modelo esférico al semivariograma empírico. De los modelos teóricos más utilizados, el esférico es el único que tiene una meseta definida explícitamente, ya que tanto el modelo exponencial como el gaussiano alcanzan la meseta de forma asintótica. Los rangos (la distancia a la que se alcanza la meseta) no son directamente equivalentes entre modelos, por lo que se eligió para el análisis de todas las fechas un único modelo para poder extender la comparación.

El empleo de técnicas geoestadística requiere de determinados supuestos, como todo modelo estadístico. Se exige, al menos, estacionariedad de segundo orden, es decir, la varianza debe ser igual en las diferentes zonas del área de estudio. La falta de estacionariedad puede deberse a la existencia de anomalías en el espacio, o bien a la existencia de una tendencia o gradiente espacial cuya dimensión es mayor que el área de estudio (Isaaks y Srivastava, 1989). Existen varias formas de evitar que la no estacionariedad de los datos afecte a la estimación de puntos en la parcela. Una aproximación al problema es restringir el radio de búsqueda de vecinos que ayuden a interpolar un valor en una zona no muestreada. Esta aproximación se basa en que, en la mayoría de los casos, la estacionariedad es “global” pero no se encuentra estacionariedad a nivel “local” con lo que restringiendo el uso de vecinos a distancias convenientemente cortas puede llevar a estimaciones robustas de la variable en el espacio. Por último, si la estacionariedad está provocada por una tendencia espacial más que por la existencia de dos poblaciones, se puede eliminar dicha tendencia (*detrending*) y realizar el semivariograma solo con los valores residuales. Hay que tener en cuenta que una tendencia espacial puede enmascarar la heterogeneidad local de nuestra área de estudio. Es esta heterogeneidad local en la que normalmente se centra nuestro interés. Si conocemos el origen de esta tendencia y podemos modelizarla (tendencia externa), tan solo hay que sustraer a los datos espaciales dicha tendencia, interpolar puntos usando el semivariograma de los residuales y añadir la tendencia al resultado final. También se puede explorar la tendencia a partir de los propios datos de la parcela (tendencia interna) mediante la sustracción de polinomios de primer y segundo grado, que permite un ajuste robusto del modelo y una buena explicación del modelo empírico desarrollado.

El resultado final del *kriging* es un mapa con los valores interpolados de la variable. Sin embargo, a diferencia de otras técnicas, la estadística espacial permite que cada interpolación lleve asociado un grado de incertidumbre que puede también ser representado en el espacio (en forma de varianza o desviación estándar). Por tanto, a cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distribución teórica, lo que además permite la posibilidad de realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del *krigeado* como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor en un determinado momento y espacio.

Existe una forma de comprobar el efecto de todas las decisiones tomadas en los métodos de estimación de la variable en el espacio: la validación cruzada. Es una técnica de *Jackknife* que consiste en eliminar un valor de la variable, calcular el semivariograma correspondiente y estimar el valor eliminado a partir de dicho semivariograma, valorando el sesgo del sistema. Si esto se realiza con todos los valores de la variable regionalizada, de manera individual (es decir, uno a uno) finalmente podremos representar todos los valores interpolados frente a sus valores reales. El estudio de los resultados de la validación cruzada debe concentrarse en los aspectos negativos, como errores muy abultados o áreas con evidente sobre o subestimación. El beneficio real de una

validación cruzada es la confirmación de trabajar con un modelo robusto, eficiente, suficiente e insesgado (Isaaks y Srivastava, 1989).

3.2 Caracterización del sitio y balance hídrico

Los ensayos en el sitio de estudio seleccionado se iniciaron en 2013 y se realizaron diferentes mediciones hasta el año 2016. En el monte frutal elegido se observaron previamente problemas de drenaje y presencia de freática elevada en algunos momentos de la estación productiva.

3.2.1 Selección y caracterización del sitio de estudio

Para la evaluación del efecto del nivel freático estacional se seleccionó un monte comercial adulto y productivo de cerezo cultivar Santina injertado sobre Santa Lucia 64, ubicado en la localidad de Allen (establecimiento comercial La Deseada), de diez años de edad, conducido en eje central con un marco de plantación de 3,5 m entre filas y 2 m entre plantas y regado por goteo con una línea de riego por fila de plantación y emisores de 2 l.h⁻¹ distanciados 0,6 m, con una precipitación del equipo de 0,951 mm.h⁻¹. De las 9 ha de la chacra, 5,75 ha se encuentran plantadas con cerezas y 3,25 ha con otros frutales de carozo.

En septiembre de 2013, se instalaron 3 freatómetros con las mismas características que los descriptos en el apartado 3.1.1

Para la descripción del perfil de suelo, se realizó en 2013, un muestreo a tres profundidades 0,30, 0,60 y 0,90 m, a partir del cual se hizo un primer análisis físico químico y textural. De acuerdo a los resultados obtenidos, se consideró necesario implementar un plan de recuperación del suelo y mejora del drenaje ya que su condición resulto salino sódica.

Para la caracterización general del sitio se recurrió a los estudios de suelo de referencia (Apcarian *et al.*, 2014; CYL-AyEE, 1991a) y luego, en marzo de 2016 se abrió una calicata y se realizó una descripción completa del perfil del suelo y de la distribución de las raíces de los frutales. Se siguieron las normas convencionales del *Soil Survey Division Staff* (1993) y se tomaron muestras de cada horizonte identificado. Todos los análisis físico-químicos de suelo (2013 y 2016) se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Provincia de Neuquén (LASAF).

El manejo cultural del monte frutal, de acuerdo a lo informado por el productor, respondió a la realización de las tareas habituales demandadas por el cultivo. Se efectuó anualmente la poda de invierno, en donde se removieron ramas gruesas y se ataron las ramas seleccionadas para la correcta formación de los árboles de acuerdo al sistema de conducción implementado: eje central. Antes de que se lignifiquen los brotes del año, se realizó una torsión de los mismos en sentido horizontal, práctica coloquialmente conocida como “sobado”, junto con una poda de verano de los brotes con crecimientos verticales en la parte alta de los árboles.

El plan de fertilización del establecimiento incluyó la reposición de nutrientes vía suelo, foliar y fertirriego en los distintos momentos del ciclo. El nitrógeno, el calcio y el potasio se proveyeron principalmente por suelo en la primavera temprana y en otoño y el boro, el zinc y otros

micronutrientes mediante aplicaciones foliares a partir de floración. Los rendimientos medios anuales se tomaron de los registros del establecimiento 'La Deseada'.

3.2.2 Curvas de capacidad hídrica

Se realizaron las curvas de capacidad hídrica a partir de muestras de suelo disturbadas extraídas en marzo de 2016 a 0,30, 0,60 y 0,90 m. Las determinaciones fueron hechas en el laboratorio de suelos del INTA Mendoza para 5 puntos de succión matriz: 10-30-100-300-1500 kPa.

3.2.3 Contenido de agua del suelo

Para la determinación del contenido de agua del suelo, se instalaron sensores ECH2O EC-5 (ex 'Decagon Devices', actual 'Meter Group'), a tres profundidades: 0,30, 0,60 y 0,90 m, conectados a un *data loggers* con registro de datos continuo cada 30 minutos. En cada una de las profundidades mencionadas se instaló un sensor que midió el contenido volumétrico de agua mediante la técnica de reflectometría de dominio de frecuencia (FDR).

Los datos fueron procesados como promedios diarios y luego promedios decadiarios para su interpretación.

3.2.4 Balance hídrico

Para la programación del riego, se elaboró un balance hídrico adaptando las metodologías de diseño agronómico de Pizarro (1996) y Podestá (2015) para el cálculo de la necesidad total de riego. Con los datos de diseño agronómico, hidráulico y características de funcionamiento del equipo, se estimó el tiempo de riego del establecimiento (Montenegro *et al.*, 2017; Ferreyra *et al.*, 2005). Para el control del riego, se utilizó la información provista por los sensores de humedad de suelo (3.2.3). En la Figura 12 se presenta el esquema de cálculo utilizado.

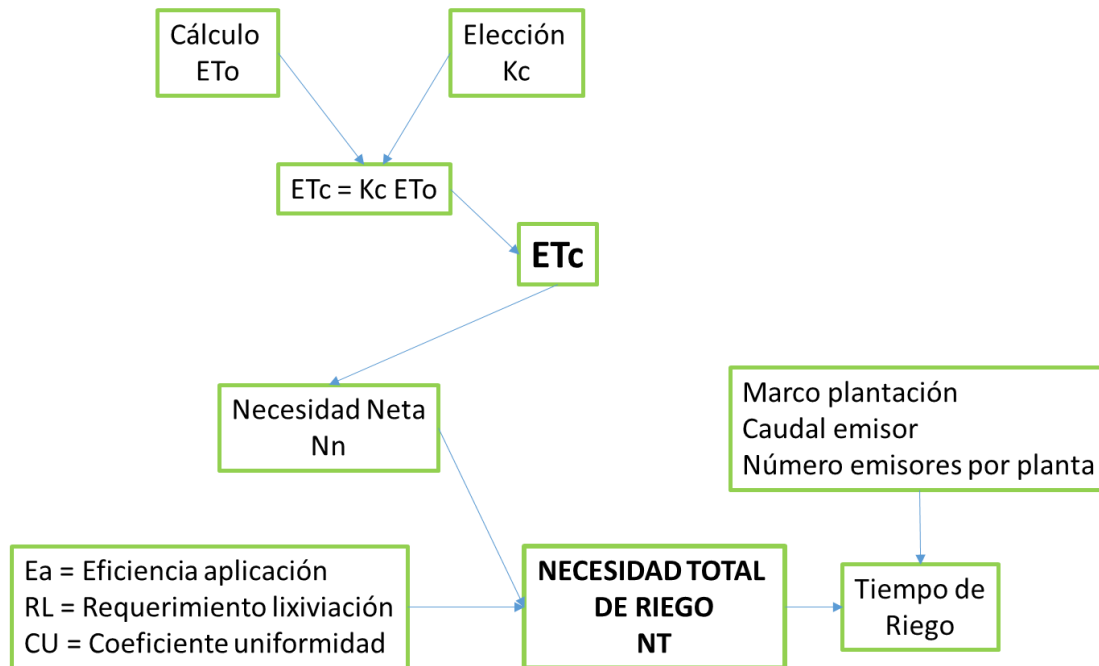


Figura 12. Esquema de cálculo para la programación del riego localizado mediante el balance hídrico, adaptado de Pizarro (1996).

La ET_c de los cerezos se estimó utilizando el método de Penman-Monteith. Para el cálculo de la ET_o , se consideraron los valores de la estación meteorológica automática Davies ubicada en la EEA Alto Valle.

Para que el k_c represente adecuadamente las características del cultivo, se consideraron validaciones locales. Los valores de referencias de FAO de k_c para cerezos (Steduto *et al.*, 2012; Allen *et al.*, 2006) son para un cultivo sin ningún tipo de restricción ni estrés, con cobertura media del suelo y teniendo en cuenta que en la zona se producen heladas (Tabla 2). Los mismos, fueron corregidos con valores para la zona de Mendoza (Podestá, 2015; Podestá, 2007) y con valores locales para la zona del Alto Valle obtenidos a partir de mediciones directas del consumo de agua en peras y manzanas en seis lisímetros de drenaje (Requena *et al.*, 2012). La corrección de los k_c locales de pera y manzana consideró las diferencias fenológicas para representar adecuadamente la necesidad de agua de los cerezos durante su ciclo productivo.

Tabla 2. Coeficientes de cultivo (k_c) para cerezos, adaptados a las condiciones fenoclimáticas de la zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
0,25	0,75	1,1	1,15	1,15	1,1	0,95	0,85
inicial	inicial	medio	medio	medio	medio	final	final

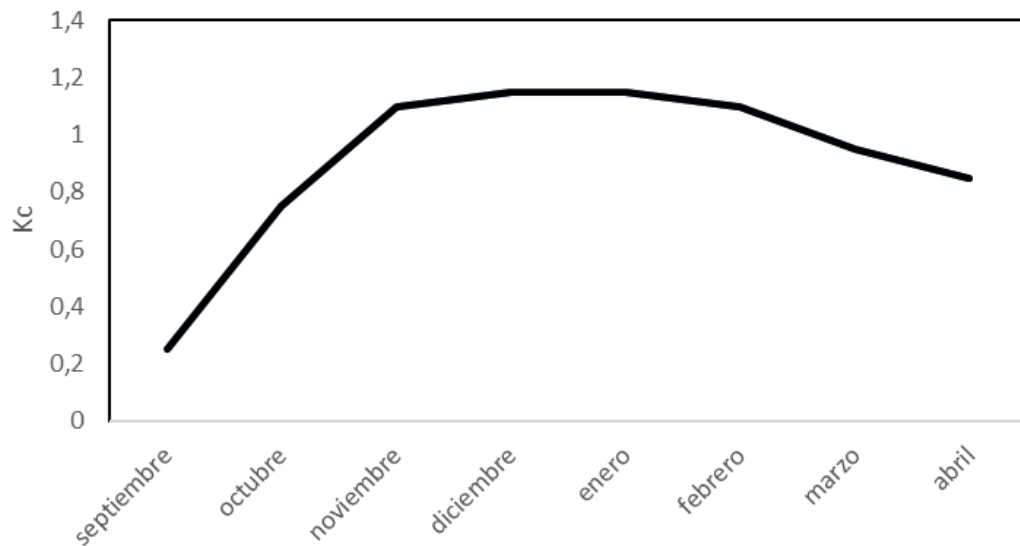


Figura 13. Evolución de coeficiente de cultivo de cerezas en el alto Valle de Río Negro y Neuquén.

Con el cálculo de la ET_c , se llegó a la necesidad neta de riego, y se utilizaron valores diarios que luego fueron promediados cada 10 días. Esa lámina requerida por el cultivo, fue corregida por la eficiencia de aplicación (E_a) que considera la pérdida de agua por percolación, el requerimiento de lixiviación (RL) y el coeficiente de uniformidad (CU) del equipo de riego. Para la corrección por eficiencia de aplicación se utilizó un valor teórico de 85% ($K(E_a)=1-E_a=0,15$) y para el requerimiento de lixiviación se recurrió a los valores de referencia de Podestá (2015) que de acuerdo a los resultados analíticos de conductividad eléctrica del agua utilizada para riego ($CE=0,99 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) es de $K(RL)=0,11$. Para la aplicación práctica se eligió el mayor valor de estos dos K , en este caso $K(E_a)=0,15$ asumiendo que las pérdidas por percolación producto de la ineficiencia en la aplicación del agua provocan un lavado superior al necesario, manteniendo así el nivel de salinidad por debajo del mínimo (Pizarro, 1996).

El coeficiente de uniformidad también se tomó de las referencias teóricas, estableciéndose en $CU=0,90$. Con esta última corrección de la lámina neta, se asegura que incluso en el sector “peor regado” el cultivo recibirá la lámina necesaria.

Una vez obtenida la necesidad total de riego, se avanzó en el cálculo del tiempo de riego, de acuerdo al marco de plantación ($MP=3,5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$), el caudal de los emisores ($Q_e=2 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$) y el número de emisores por planta ($N^{\circ}e=3,33$).

El aporte de las eventuales lluvias (precipitación efectiva) no fue considerado en el balance hídrico por su baja probabilidad de ocurrencia. En el caso del aporte capilar de agua desde la freática, su cálculo se detalla en el apartado 3.2.5 y su efecto en el balance hídrico de la zona radicular se analiza en el apartado 4.2.4.

3.2.5 Acenso capilar

Para la estimación del aporte capilar de agua desde una freática superficial hacia la zona radicular, se utilizó el software UPFLOW (Raes *et al.*, 2002). El UPFLOW es un software que estima la cantidad de agua que se moverá hacia la zona radicular del perfil de un suelo desde una capa freática poco profunda para una condición ambiental específica. Se asume que el flujo calculado está en equilibrio con la demanda evaporativa, suponiendo una condición de estado estacionario o régimen permanente.

La simulación con el UPFLOW se realizó considerando periodos decadiarios para los que se calcularon los valores medios de todos los parámetros requeridos: la demanda evapotranspirativa (ETc); el contenido medio de agua (VWC %); la profundidad a la que se encuentra la napa freática (NF); las características de absorción de agua del sistema radicular de los cerezos; el perfil del suelo y el contenido de sales de la napa. El cálculo de los parámetros mencionados, ha sido desarrollado previamente.

La demanda evapotranspirativa (ET mm.día⁻¹). Asumiendo régimen permanente, el flujo capilar ascendente desde una freática poco profunda nunca puede ser mayor a la evapotranspiración. Se tomó la evapotranspiración del cultivo de cereza (ETc) y se usó el promedio decadiario de la ETc del periodo considerado.

El contenido medio de agua (% volumen) de la capa superior del suelo para el periodo considerado. El software requiere el dato de humedad de la zona radicular a la que considera como un espacio indivisible. El contenido de humedad (VWC) se obtuvo de los valores registrados por los sensores de humedad de suelo. La zona radicular se tomó de 0 m a 0,60 m y el contenido de humedad de suelo utilizado fue el mayor del registro de los sensores de 0,30 m o 0,60 m, ya que se considera al mayor contenido de agua como limitante del ascenso capilar desde la freática. Es importante considerar que con suelos demasiado húmedos (más húmedo que el punto de equilibrio de capacidad de campo) no hay flujo ascendente ya que no se genera ningún gradiente de potenciales.

La profundidad a la que se encuentra la napa freática (m). Se asumió que, si el nivel freático se encuentra demasiado profundo, no se producirá transporte de agua hacia la zona radicular. La profundidad crítica para el ascenso capilar o la ocurrencia de evaporación de agua desde la freática depende directamente de la textura del suelo (Li *et al.*, 2013).

Las características de absorción de agua del sistema radicular de los cerezos (Smax): El software UPFLOW considera una profundidad radicular para frutales de 2,20 m y asigna un valor de extracción mayor en la zona más superficial, incrementando la tasa de absorción de agua. Para nuestra región, se ha reportado que entre los 0,60 y los 0,80 m se encuentran el 85% de las raíces activas de los frutales de hoja caduca. Se supone además, que la fluctuación estacional de una freática superficial puede generar sistemas radiculares horizontalizados (Kozłowski, 1997). Para el caso de estudio se consideró el patrón de crecimiento radicular de los cultivos frutales (Aruani, 2009; Nolting, 1976), las características texturales del suelo, la presencia de freática superficial y la distribución de raíces observada, para definir una profundidad de 0,60 m. Los Smax usados fueron: 0,0030 m³ de agua por m³ de suelo por día en la zona más superficial, 0,015 m³.m⁻³.día⁻¹ en la zona media y 0,018 m³.m⁻³.día⁻¹ en la más profunda.

El perfil del suelo: El software considera el perfil de exploración radicular como una capa indivisible. Se cargaron dos capas de acuerdo a la caracterización del perfil realizada: de 0 a

0,60 m, *silty loam* (franco limoso) de acuerdo a las curvas tipo provistas por el programa y de 0,60 a 1,60 m, *loam* (limoso), verificando que los valores de retención de agua tabulados por el software fueran similares a los de las curvas de retención hídrica (apartado 4.2.1).

3.3 Respuesta de la planta

Se realizaron las siguientes mediciones sobre plantas adultas del sitio seleccionado (ver apartado 3.2.).

3.3.1 Potencial hídrico xilemático al mediodía

Se midió el potencial hídrico xilemático (Ψ_x) al medio día (Shackel *et al.*, 1997; Scholander *et al.*, 1965) en la situación de mínimo estado hídrico de la planta antes del riego, utilizando una cámara de presión o bomba de Scholander (modelo Bio Control) de fabricación nacional durante la temporada de crecimiento 2015-2016, con frecuencia semanal entre endurecimiento de carozo y cosecha y se tomó una medición más en enero cuando la planta se encontraba sin fruta a fines de dicho mes.

Para cada determinación se seleccionaron en total 20 hojas de por lo menos 10 plantas (dos hojas por planta), ubicadas en el tercio medio del árbol, eligiendo aquellas totalmente expandidas y sanas. Las hojas fueron ocluidas envolviéndolas con bolsas de papel de aluminio plastificado una hora antes de la medición para equilibrar el potencial agua de la hoja con el xilema del peciolo y este con el del tallo.

3.3.2 Conductancia estomática

La conductancia estomática se midió con un porómetro de hoja de estado estacionario (Decagon Devices), en 10 hojas ubicadas en el tercio medio del árbol y expuestas al sol, de plantas distintas. Las mediciones se realizaron durante la temporada de crecimiento 2015-2016 con frecuencia semanal, entre endurecimiento de carozo y cosecha y se tomó una medición más en enero cuando la planta ya no estaba con fruta a fines de enero.

3.3.3 Crecimiento de brotes

Durante las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016 se seleccionaron entre 15 y 20 brotes del año en el tercio medio de diferentes árboles adultos y se midió semanalmente la longitud de los mismos. Se calculó la tasa de crecimiento (cm.día^{-1}) y se determinó la longitud final (cm).

3.3.4 Crecimiento de frutos

Se realizaron curvas de crecimiento de frutos desde el momento de post cuaje hasta la cosecha comercial en la temporada 2015-2016. Para ello, se muestrearon semanalmente 50 frutos de ramilletes sobre ramas de dos años ubicadas en la parte media del árbol, que se llevaron al laboratorio, dónde se registró el peso individual y el diámetro contrasutural. Se calculó la tasa de crecimiento (cm.día^{-1}) y el peso final de los frutos (g).

3.3.5 Calidad de fruta: índices de madurez

Durante la cosecha del cuadro de los años 2013, 2014, 2015 y 2016 se tomaron muestras de 50 frutos que fueron llevados al laboratorio para determinar los diferentes índices de madurez: firmeza (penetrómetro electrónico FTA, Güss y Durofel), contenido de sólidos solubles (refractómetro PAL-1 Atago), acidez titulable (por titulación con NaOH 0,1N), color de cobertura (tabla de color de INTA EEA Alto Valle) y calibre medio (calibre digital).

3.3.6 Estado nutricional y contenido de reservas: análisis foliares, carbohidratos no estructurales y almidón

Para la determinación de macro y micro nutrientes se tomaron muestras de hojas de brotes en el mes de enero-febrero del año 2016 (Temporada 2015-2016). Estas fueron acondicionadas y enviadas al laboratorio LANAQUI, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca para la realización de los análisis foliares.

Para la determinación del contenido de almidón y de azúcares totales, se tomaron muestras de corteza y raíz de 10 plantas en el momento en que había un 50% de caída de hojas, en los años 2015 y 2016. Las muestras se lavaron con agua destilada, se cortaron en pequeños trozos y se colocaron en bandejas de aluminio en estufa. Una vez secas, se molieron y reservaron en frascos de vidrio herméticos hasta el momento de la realización de las determinaciones de laboratorio.

Preparación de la muestra: Se pesaron ± 0.045 g de polvo de raíz o corteza, que se colocaron en tubos tipo eppendorf de 2 ml, registrándose individualmente del peso exacto de cada muestra. Primero se realizó la determinación de azúcares solubles, para lo que se agregaron 1,5 ml de alcohol etílico al 80 % a cada eppendorf. Luego se procedió a agitar, colocar a baño María y centrifugar, separando finalmente el sobrenadante para la determinación de azúcares totales. El pellet resultante se secó en estufa a 35° por 24 h para la posterior determinación de almidón.

Azúcares totales: Para la cuantificación de los azúcares totales se empleó el método colorimétrico del fenol-ácido sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956). A 50 μ l de muestra se le adicionaron 150 μ l de agua 0,5 ml fenol al 5% y 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se dejaron reposar los tubos 10 min, se agitaron en vortex y luego de 20 min a temperatura ambiente se hizo la lectura de la absorbancia del color desarrollado a 490 nm (máximo de absorción para hexosas). El contenido de hidratos de carbono totales se cuantificó por referencia a curvas patrón de glucosa. El resultado se expresó en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco.

Almidón: Para la determinación de almidón, el pellet fue re suspendido en 1,5 ml de dimetil sulfoxido acidificado, colocado 1 hora en baño termostatzado a 60°C, estabilizado a temperatura ambiente y centrifugado. A 100 μ l del sobrenadante se agregaron 100 μ l de iodine (iodo iodurado acidificado) y 2 ml de agua. Se hizo la lectura de la absorbancia del color a 600 nm en espectrofotómetro. El resultado se expresó en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco usando una curva de calibración de almidón realizada previamente.

3.3.7 Análisis estadístico de variables evaluadas

Dado que para evaluar la respuesta de la planta y las características del suelo se utilizaron metodologías específicas surgidas de áreas diversas, el análisis estadístico se abordó con un conjunto de técnicas que van desde el análisis descriptivo a la realización de inferencias a partir de datos de naturaleza multivariante, en los que cada observación estuvo constituida por los valores de diferentes variables, interrelacionadas o no, plausible esto de ser confirmado metodológicamente.

A través de los análisis realizados, se maximizó la información entre las relaciones de las variables, si las hubiera, para lograr un análisis más robusto y profundo. Se trabajó con modelos lineales clásicos con un nivel de confianza del 95% en todos los casos. En cada apartado se explicitan las técnicas, herramientas o métodos utilizados, en caso de no hacer uso del modelo general propuesto. A continuación, se presenta la estructura general del modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + A_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : Respuesta i -ésima de la variable observada para la temporada j

μ : Media general del modelo (de cada observación i en cada temporada j)

A_j : Efecto de la temporada en los tres niveles j propuestos, $j=2013-2014, 2014-2015, 2015-2016$

ε_{ij} : Error aleatorio asociado a cada observación i para cada temporada j

El método de estimación de medias fue el de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), dado que los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se testearon en todos los casos con sus correspondientes pruebas: Shapiro Wilks y el Levenne. Se trabajó con un nivel de significación del 5%. La separación de medias fue realizada a través del test de Tukey y en los casos donde el tamaño de muestra de los sitios y los años diferían en su composición cuantitativa, se optó por trabajar con el factor de corrección propuesto por Tukey, test Unequal N HSD. En los casos en los que no se cumpla algún supuesto o se requiera algún otro análisis complementario, se expresará oportunamente. Los análisis se realizaron con el software Infostat/P (Di Rienzo *et al.*, 2017).

4 Resultados y discusión

4.1 Comportamiento del nivel freático en un área piloto

4.1.1 Monitoreo de los niveles freáticos

Los datos primarios utilizados fueron obtenidos de los 22 pozos de observación o freatómetros instalados en las 100 has de la chacra número 106 de la Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle en 2012. Como el objetivo de la red fue la obtención de datos a escala predial para caracterizar en detalle el comportamiento del nivel freático en la zona de Guerrico, se utilizó una densidad de puntos de muestreo adecuada a la escala, que resulto en una densidad de puntos de medición de un freatómetro cada 4,5 ha. La escasa pendiente del Alto Valle y la nivelación para el riego del área de estudio quedaron demostradas al realizarse la planaltimetría de cada punto de observación.

Se trabajó con el registro de 40 de las mediciones de nivel freático del periodo estudiado (Anexo I: tabla fechas seleccionadas para mapeo), con distintas frecuencias de acuerdo a la época. El promedio de todos los pozos para cada fecha, se graficó en el hidrograma del área piloto (Figura 14). Allí se observa el comportamiento estacional de la napa freática. Se registra un dato máximo atípico para la serie, que corresponde con una tormenta extraordinaria ocurrida en abril de 2014. El resto de las lecturas se corresponden con lo esperado para la zona (Galeazzi *et al.*, 2007).



Figura 14. Hidrograma del comportamiento del nivel freático en el área piloto de la EEA Alto Valle.

Para realizar el análisis descriptivo que se presenta en la Tabla 3, se seleccionaron las 14 fechas más representativas del comportamiento estacional, que podrán ser observadas en el apartado. Se determinó que la mayoría de las fechas presentó una distribución normal, lo que fue corroborado

con el test de Shapiro - Wilks ($p \gg 0,05$). Sin embargo, la homogeneidad no se mostró fuertemente según el test de Levene, por lo que los datos originales fueron transformados utilizando logaritmo para la correcta aplicación del modelo y para que al momento de utilizar los semivariogramas, en la interpolación de valores de profundidad del nivel freático, esté contemplada la sensibilidad de las técnicas de interpolación a los valores extremos.

Tabla 3. Análisis exploratorio de la profundidad del nivel freático en el área piloto de Alto Valle [2012-2016].

Medidas de resumen y valores p de la profundidad del nivel freático									
	N valido	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Varianza	Desv. Est.	Error Est.	p-valor
4/10/2012	22	1,065	0,78	1,49	0,71	0,026	0,1614	0,0344	0,425
15/1/2013	22	1,238	0,99	1,4	0,41	0,0091	0,0952	0,0203	0,3504
30/8/2013	22	1,595	1,44	1,73	0,29	0,0083	0,091	0,0194	0,2474
1/5/2014	22	1,442	1,2	1,73	0,53	0,0171	0,1307	0,0279	0,9756
25/8/2014	22	1,595	1,44	1,73	0,29	0,0083	0,091	0,0194	0,2474
26/9/2014	22	1,132	0,75	1,72	0,97	0,1166	0,3415	0,0728	0,0009
15/1/2015	21	1,343	1,14	1,67	0,53	0,0227	0,1507	0,0329	0,1479
15/4/2015	20	1,199	0,83	1,5	0,67	0,0224	0,1496	0,0335	0,5807
31/8/2015	21	1,594	1,44	1,73	0,29	0,0082	0,0907	0,0198	0,2474
27/10/2015	21	1,048	0,62	1,29	0,67	0,0247	0,1572	0,0343	0,2931
20/1/2016	18	1,133	0,84	1,4	0,56	0,0158	0,1257	0,0296	0,7574
28/3/2016	19	1,442	1,02	1,62	0,6	0,0186	0,1366	0,0313	0,2301
10/8/2016	21	1,594	1,44	1,73	0,29	0,0082	0,0907	0,0198	0,2474
7/10/2016	19	1,121	0,88	1,57	0,69	0,026	0,1613	0,037	0,0813

4.1.2 Modelado espacial del comportamiento de la profundidad del nivel freático

Luego de la exploración de los datos, se avanzó con el modelado espacial del comportamiento de la profundidad del nivel freático con el software Arc GIS (ESRI, 2011). Se presentan los pasos del proceso de krigado hasta la obtención del mapa para la fecha 04/10/12, a modo de ilustración de la metodología aplicada para todas las fechas.

El semivariograma empírico, representa la función básica que describe la variabilidad espacial de la profundidad del nivel freático observado. Una vez obtenido, se le ajustó el modelo esférico, el mismo para todas las fechas analizadas, con el objetivo de lograr que los mapas resulten comparables entre sí.

La autocorrelación espacial proporcionada por el semivariograma, cuantifica un principio básico de la geografía: es más probable que las cosas que están más cerca sean más parecidas que las que están más alejadas. Entonces, los pares de ubicaciones que están más próximos (extremo izquierdo del eje X de la nube de semivariograma) deberían tener valores más similares (parte inferior en el eje Y de la nube de semivariograma). A medida que los pares de ubicaciones estén más separados entre sí (hacia la derecha en el eje X de la nube de semivariograma), deberían ser más distantes y

tener una diferencia cuadrada más grande (hacia arriba en el eje Y de la nube de semivariograma) (Figura 15).

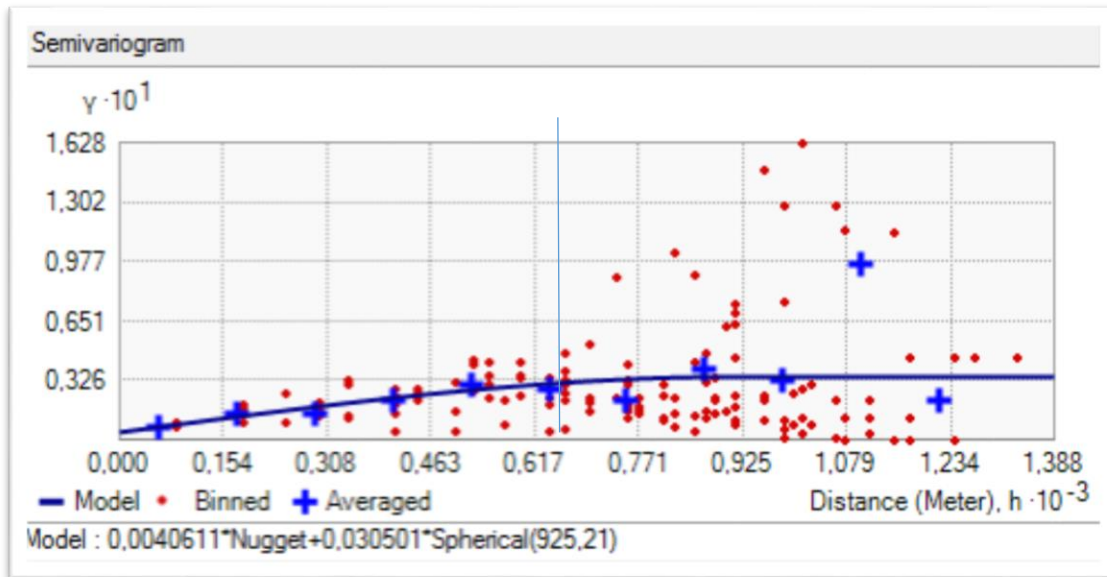


Figura 15. Semivariograma empírico con modelo esférico ajustado.

La distancia real máxima en este análisis espacial fue de 1000 m, pero para el ajuste del modelo esférico, se tomó una distancia total de 925,21 m a fin de evitar conflictos o contradicciones con los puntos de borde a la hora de estimar. Dado que en el límite lateral oeste hay un canal de riego, se contempló su efecto para evitar el sesgo del comportamiento de la profundidad del nivel freático.

La distancia local representada por el rango o *lag* resultó de 115,65 m, y fue calculada a partir de la distancia total del modelo y la cantidad máxima de puntos de muestreo en el espacio estudiado. Se consideró la dependencia del comportamiento de la profundidad del nivel freático, indicando la independencia espacial de los puntos más allá de esta distancia.

El efecto pepita o *nugget* resultó de 0,03 m y representa la variabilidad no explicada por el modelo (la variabilidad intrínseca entre los puntos de menor distancia de muestreo).

La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos es la meseta o *sill*; debe coincidir con la varianza de la población e indica el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Al igual que un modelo clásico el R^2 también representa el coeficiente de determinación. Es por ello que, un alto cociente indica una variable espacialmente muy predecible. La profundidad del nivel freático mostró un comportamiento isotrópico, con igual variación espacial en todas las direcciones (semivariograma omnidireccional).

El aumento de la semivarianza se observó hasta el intervalo de distancia I : 0,617 – 0,771, a partir del cual ésta se vuelve parsimoniosa alcanzando su máximo y la estabilidad (Figura 15). En relación a la estacionariedad (igual varianza en las diferentes zonas del área de estudio), se observó una tendencia relacionada a la proximidad del canal de riego.

En el Anexo II se presenta el mapa de profundidad del nivel freático (isobatas) obtenido a partir de los 22 puntos de observación relevados para la fecha 4/10/12 y las salidas del programa durante el proceso de elaboración del mismo. Se repitió el procedimiento con las mismas consideraciones para todas las fechas seleccionadas.

4.1.3 Mapas de isobatas o profundidades de nivel freático

Se obtuvieron 4 mapas de profundidad del nivel freático mediante el empleo de las 14 fechas seleccionadas, que caracterizan el comportamiento estacional de la variable en la zona del Alto Valle: primavera (octubre-noviembre: periodo de defensa de heladas e inicio de la temporada de riego), verano (diciembre-febrero: periodo de máxima demanda evapotranspiratoria y crecimiento vegetativo), otoño (marzo-abril: riegos de fin de temporada o de lavado de sales) e invierno (mayo – agosto: periodo sin riego y sin agua en los canales).

El análisis de los mapas permitió observar el comportamiento de los niveles freáticos y diferenciar áreas en las que el nivel freático se encontró más superficial.

La profundidad del nivel freático en primavera demostró la presencia de una napa superficial, con valores mínimos que alcanzan los 0,80 m y se concentraron en las sucesivas temporadas evaluadas sobre el lateral oeste de la chacra experimental, lindante con el canal secundario (Figura 16).

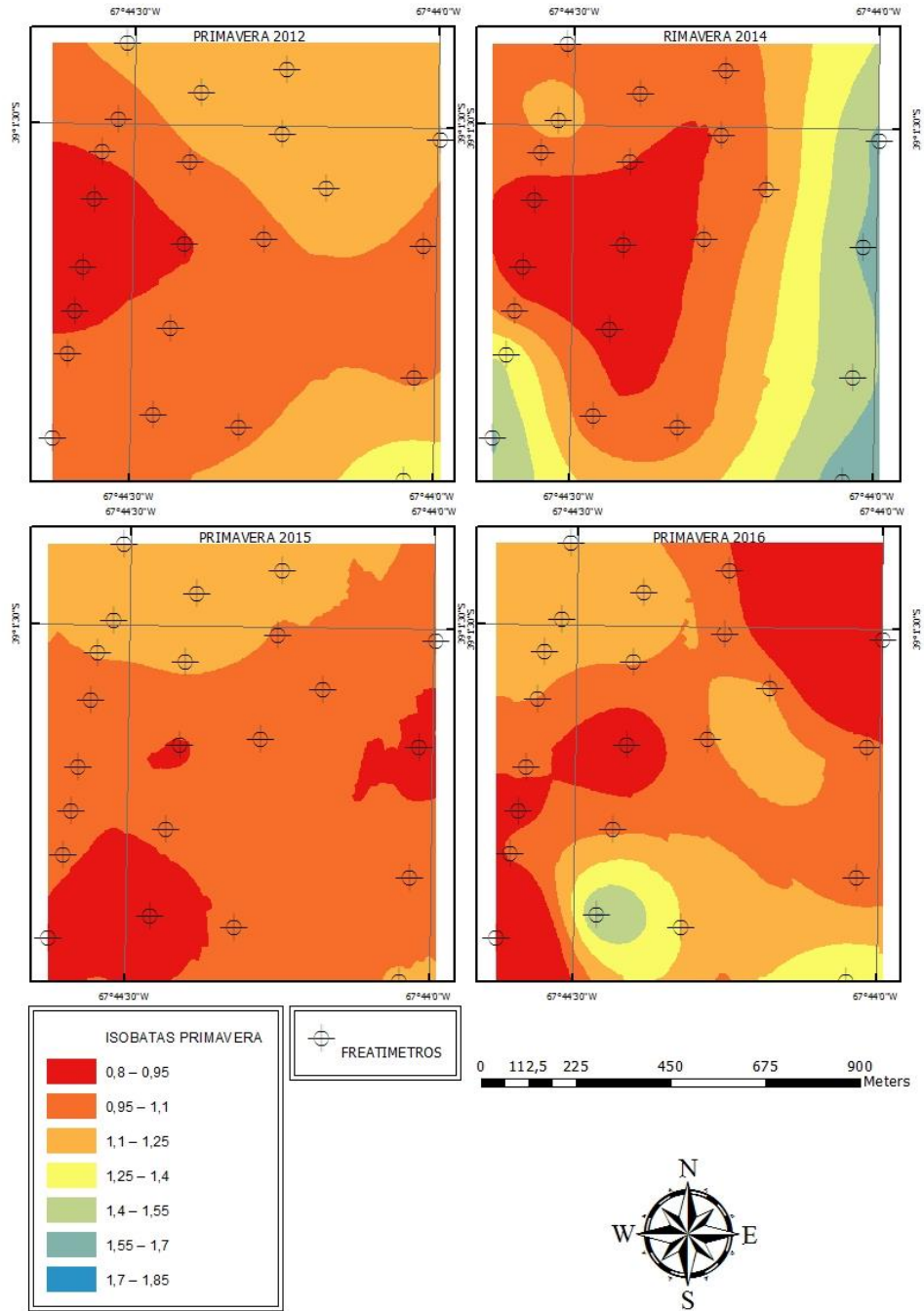


Figura 16. Isobatas de primavera.

En los mapas correspondientes a las profundidades de nivel freático de verano, se observó un descenso del mismo, con respecto a la observada en primavera (Figura 17).

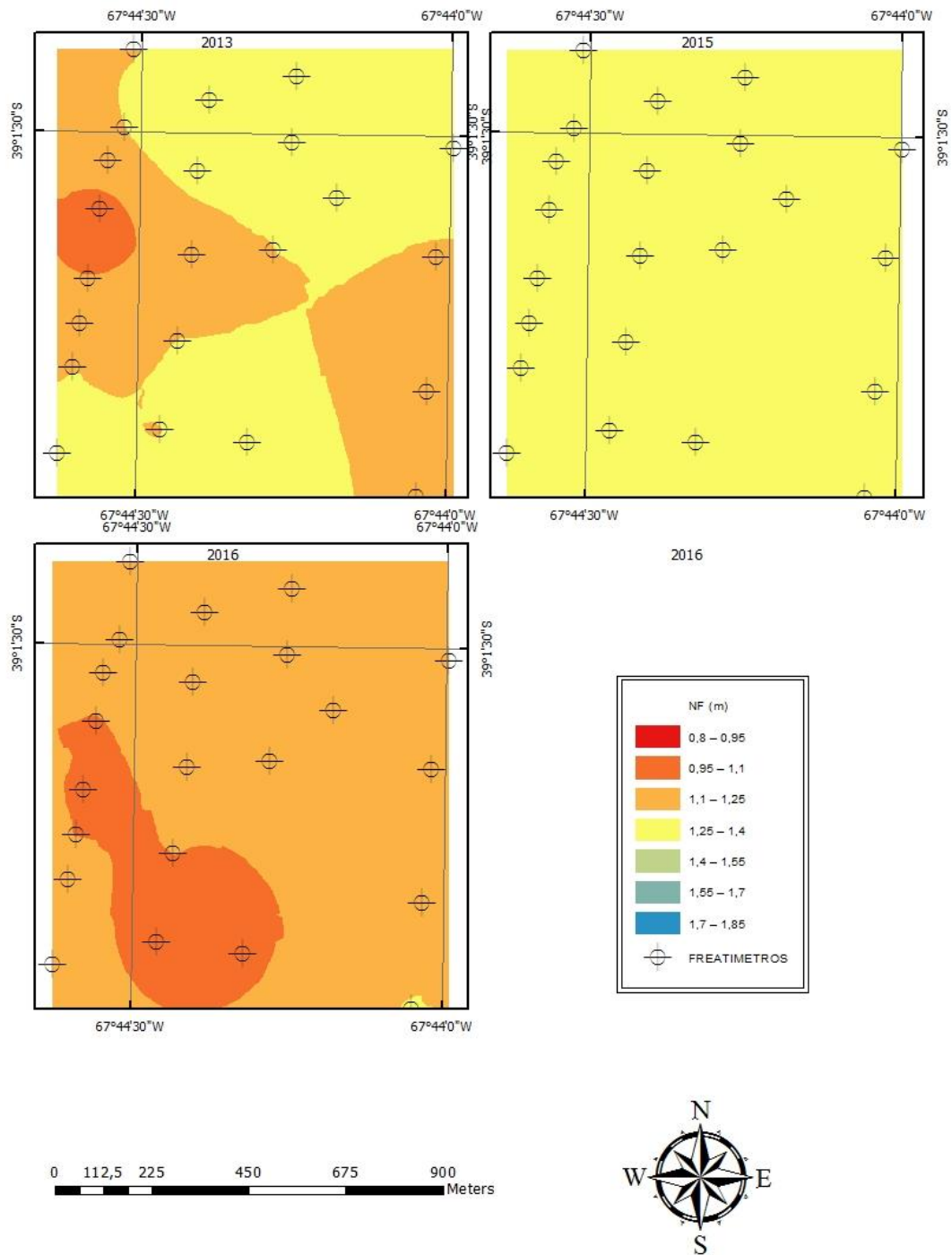


Figura 17. Isobatas de verano.

Los niveles freáticos en otoño, si bien resultaron más superficiales en algunas temporadas (año 2015), no alcanzan los valores mínimos de la primavera (Figura 18).

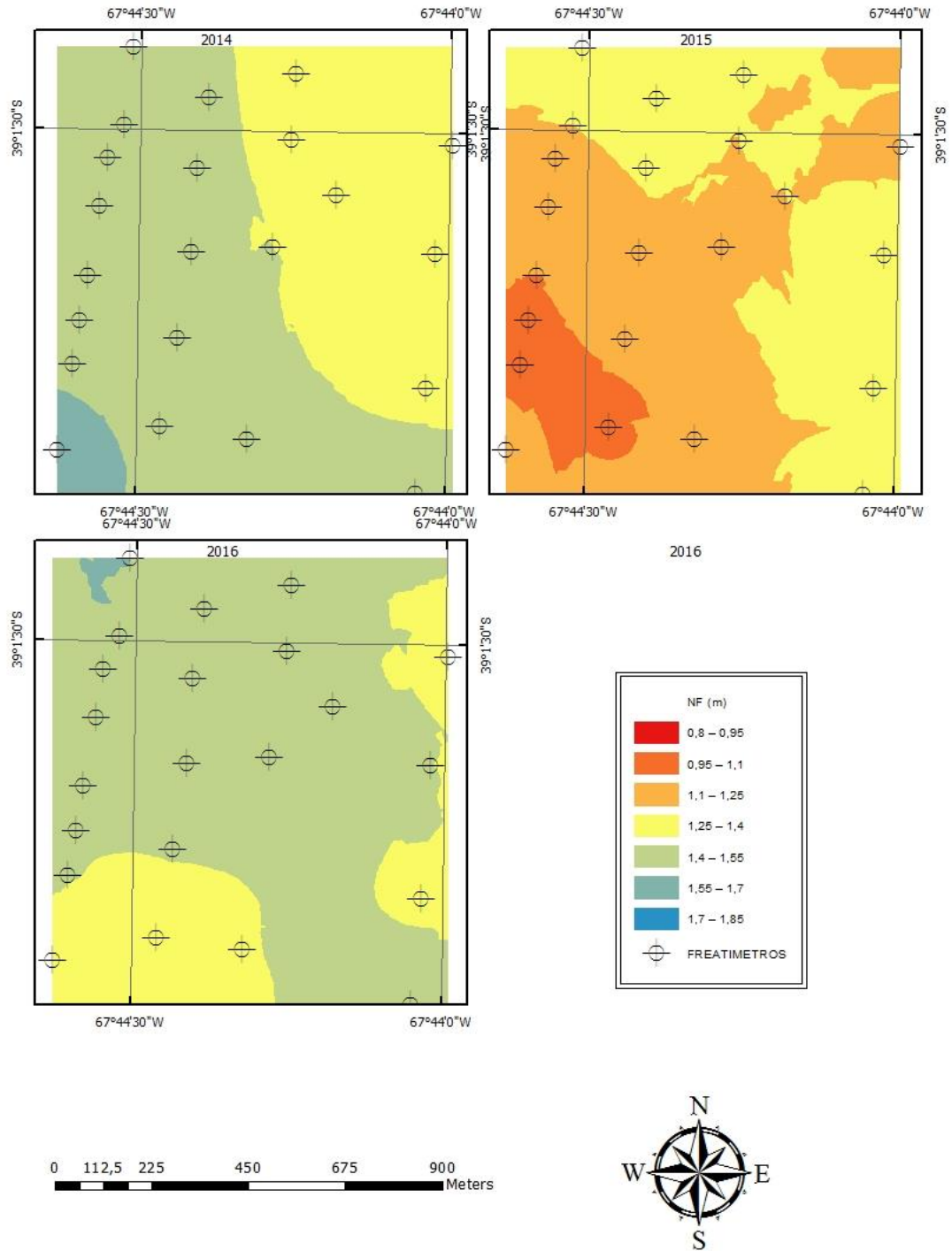


Figura 18. Isobatas de otoño.

En el periodo de reposo invernal, los freáticos no tuvieron agua, respondiendo directamente al corte de riego en el sistema y a la disminución de la recarga del acuífero (Figura 19).

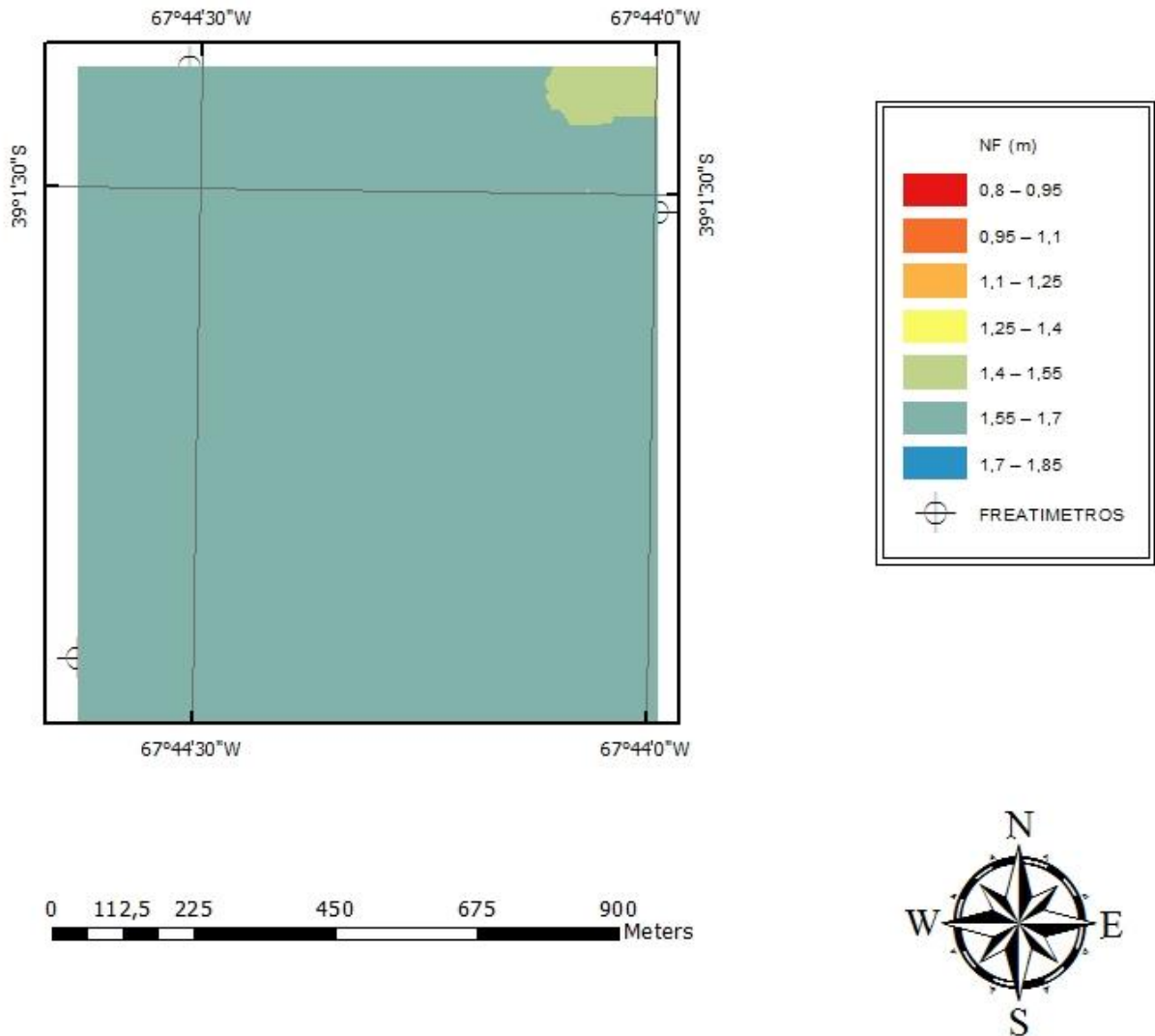


Figura 19. Isobatas de invierno.

La fluctuación observada en el hidrograma del área piloto (Figura 14) presentó un patrón anual marcadamente periódico caracterizado por dos máximos relativos en noviembre y en marzo, separados por un abatimiento en verano coincidiendo con lo descrito por Horne *et al.* (1992). Se puede afirmar entonces que en el área de estudio la recarga del acuífero freático en primavera, entre octubre y noviembre, coincide con la puesta en operación del sistema de riego (Galeazzi *et al.*, 2007; Alvarez *et al.*, 1995; Horne *et al.*, 1992; CYL-AyEE, 1990).

En el periodo de receso del riego, entre mayo y agosto, y coincidiendo con lo observado por Galeazzi *et al.* (2007) el acuífero freático se encontró en sus valores mas bajos y los freatímetros instalados no presentaron lecturas. Si bien la serie de datos no resulta lo suficientemente extensa (Alvarez *et al.*, 1995), muestra diferencias con respecto a lo observado en el area piloto de Puente la S, en la que en promedio un 30 % del agua que recarga la napa freática no alcanza a ser descargada por drenaje natural (Montenegro, 2014).

La recarga se concentró espacialmente en el lateral oeste (Figura 10), con origen en las pérdidas por infiltración producidas en el canal secundario lindero, corroborando en este estudio a escala de detalle, las fuentes de recarga mencionadas previamente en otros trabajos tanto prediales como regionales (Montenegro, 2014; Marizza *et al.*, 2009).

4.1.4 Conductividad Eléctrica en el agua freática

La conductividad eléctrica del agua freática para las fechas muestreadas (Tabla 4) se analizó tanto espacial como temporalmente. Del total de las muestras analizadas en el 80 % se registraron valores menores a 2 dS.m^{-1} . En el plano espacial, se observó que los freatómetros del 1 al 8 (alineados sobre el lateral oeste y lindante al canal de riego) (Figura 10) presentaron valores de salinidad de entre $0,4 - 1,3 \text{ dS.m}^{-1}$ que se encuentran en el rango del “agua de consumo y riego” y “agua de riego” (Tabla 5).

Esto confirma lo observado en los mapas de profundidad del nivel freático (apartado 4.1.3) en relación a la recarga producida por el canal, que además de elevar el plano freático diluye el contenido de sales.

En el plano temporal, las fechas de muestreo correspondientes al verano, presentaron valores de salinidad menores a las de primavera y otoño.

Tabla 4. Conductividad eléctrica del agua freática en el área piloto de la EEA Alto Valle.

		Conductividad eléctrica del agua freática dS.m ⁻¹					
		30/01/2013	01/05/2014	26/09/2014	16/10/2014	27/10/2015	20/01/2016
Número de freátmetro	1	0,54	1,34	1,04	1,32	0,71	0,51
	2	0,55	0,8	sd	0,78	0,65	0,58
	3	0,87	1,36	1,2	1,29	1,03	0,83
	4	0,43	0,76	0,77	sd	0,95	0,62
	5	0,7	0,97	0,95	1,03	0,94	0,91
	6	0,45	1,11	1,06	1,11	1,53	0,73
	7	0,69	1,24	sd	0,74	1,37	1,17
	8	1,14	sd	sd	1,18	1,14	1,18
	9	1,67	sd	4,48	5,76	2,2	2,54
	10	1,73	2,8	2,2	2,9	2,82	0,55
	12	1,16	3,11	1,86	4,21	sd	sd
	13	1,3	2,85	2,29	3,71	0,9	1,51
	14	1,05	4,14	4,14	4,9	2,45	0,68
	15	2,53	2,56	1,45	2,52	1,81	1,45
	16	1,32	1,29	1,14	2,26	1,76	0,53
	17	2,15	0,66	0,89	0,91	0,76	1,75
	18	1,26	2,46	1,85	sd	1,29	1,52
	19	0,61	5,06	2,71	sd	2,4	2,86
	20	0,9	sd	sd	sd	1,91	1,13
	21	0,98	sd	sd	sd	1,1	sd
	22	1	1,92	sd	sd	1,27	sd
	23	0,88	sd	0,78	sd	sd	sd

Tabla 5. Valores de referencia de la conductividad eléctrica del agua para su clasificación.

Clasificación de agua salina (Fuente: Rhoades <i>et al</i> , 1992)			
	CE dS.m ⁻¹	[sal] g.l ⁻¹	Tipo de agua
No-salina	< 0,7	< 0,5	consumo y riego
Ligeramente salina	0,7-2	0,5-1,5	riego
Moderadamente salina	2,0-10	1,5-7	drenaje primario
Altamente salina	10,0-25	7,0-15	drenaje secundario
Muy altamente salina	25-45	15-35	agua subterránea muy salina
Salmuera	> 45	> 35	agua de mar

La conductividad eléctrica del agua freática para las fechas muestreadas (Tabla 4) en el área piloto de la EEA Alto Valle, permitió inferir que la calidad de la tabla de agua-del nivel freático, resultó en los peores casos, moderadamente salina, pero coincidiendo con lo registrado previamente fue en un 80% no salina o ligeramente salina y con aptitud para riego (Tabla 5) (Montenegro, 2014; Galeazzi y Aruani, 2019).

Teniendo en cuenta los criterios para determinar la necesidad de drenaje propuestos por Horne *et al.* (1992) y CYL-AyEE (1990), se determinó para el área piloto estudiada un bajo riesgo de

degradación del suelo por salinización, así como una baja necesidad de drenaje, ya que el área de menor profundidad freática coincidió con los puntos de conductividad eléctrica menores a 2 dS.m^{-1} . En base a esos mismos criterios Mendía e Irisarri (1995) determinaron que, en suelos de texturas medias, con profundidad freática menor a 1 metro, la salinización ocurriría con conductividades eléctrica freáticas de entre 1,2 y $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$. En este sentido, la profundidad crítica del nivel freático para el cultivo de frutales establecida en 1,20 m (Ortiz Maldonado y Carmona, 2008; Álvarez *et al.*, 1995; FAO, 1979), debería quedar sujeta a otros factores del sitio como la conductividad eléctrica del agua freática (Mendía e Irisarri, 1995; Horne *et al.*, 1992).

El flujo capilar depende del tipo de suelo, el agotamiento de la humedad del suelo en la zona radicular, la profundidad de la napa freática y la recarga. Según Raes *et al.* (2002) en sitios con freática cercana a la superficie y suelos de texturas finas, es posible estimar un valor medio para los flujos diarios de acenso capilar en función de la profundidad de la freática y los contenidos de humedad de la zona radicular. En condiciones en que la calidad de agua de la napa resulta apta para riego (Tabla 5), el aprovechamiento de este recurso por parte de los cultivos sería beneficioso, siempre y cuando la duración del estado de saturación del suelo no sea permanente.

4.2 Caracterización del sitio y balance hídrico del perfil radicular en La Deseada- Allen

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización geomorfológica y edáfica del sitio de estudio, que permitió luego avanzar en la interpretación de los resultados del balance hídrico del suelo.

El sitio de estudio La Deseada – Allen (Figura 20), fue seleccionado por la presencia de freática estacional, muy superficial durante algunos periodos, que asociada a las características del suelo y método de riego, presentaba además problemas de degradación del suelo y alta mortandad de plantas en un monte con cerezos cv Santina/SL64. Mediante la colocación de freatímetros se verificó y monitoreó el comportamiento estacional del nivel freático y se tomaron muestras de suelo a partir de lo cual se confirmó la condición salino – sódica del mismo (Anexo III: análisis de suelo).



Figura 20. Plano de La Deseada - Allen. Los puntos verdes indican los freatímetros instaladas; las líneas azules indican los ramales principales del riego localizado en los cuadros con cerezos.

4.2.1 Caracterización del sitio y su perfil edáfico

La caracterización general de los suelos a escala regional, permitió suponer condiciones comunes para series de suelos a lo largo de toda el área. El sitio de estudio está ubicado en suelos de media barda (Bestvater y Casamiquela, 1983), unidad geomorfológica correspondiente a la llanura aluvial subreciente (CYL-AyEE, 1991a).

La unidad cartográfica Alto Valle, en la que se ubica el sitio de estudio, por su homogeneidad edáfica constituye la consociación Alto Valle, aunque presenta algunas características de la asociación Roca (CYL-AyEE, 1991) y puede clasificarse taxonómicamente como *Cambortides xerolico* (Figura 21). Los suelos clasificados como *Cambortides xerolicos* corresponden a la familia limosa/franca gruesa, mixta, térmica y se encuentran ubicados sobre la terraza 2 o terraza antigua (Apcarian *et al.*, 2014) sobre el sector más moderno, formando una franja que se extiende desde Barda del Medio hasta Villa Regina.

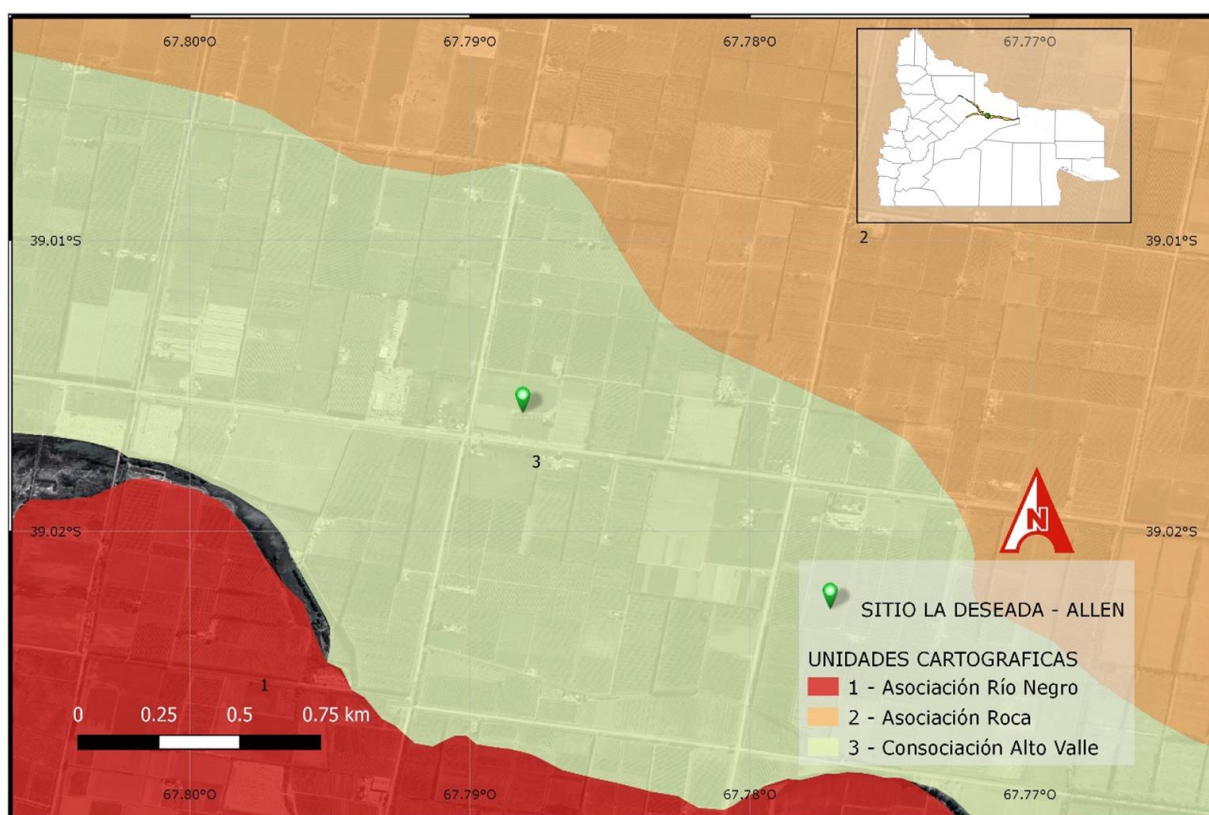


Figura 21. Clasificación del sitio de estudio de La Deseada - Allen de acuerdo a las unidades cartográficas (CYL-AyEE, 1991).

Los suelos de la asociación Roca se clasifican taxonómicamente como *Cambortide durixerolicos*, de la familia franca gruesa, mixta, térmica. Se encuentran ubicados sobre la terraza 2 (Apcarian *et al.*, 2014), entre las localidades de Allen e Ingeniero Huergo. Están conformados a partir de sedimentos fluviales de tamaños medios, con presencia dentro del metro de profundidad, de una capa cementada dura y quebradiza que podría resultar limitante para la profundización de las raíces. Presentan drenaje interno imperfecto, textura franco limosa o franca en superficie, y franca a franco arenosa en el horizonte endurecido y permeabilidad moderadamente lenta a lenta, ligeramente alcalinos en superficies a moderada a fuertemente alcalinos en profundidad. Ligeramente salinos y con la freática alejada de la superficie. La ubicación de los rodados no afecta la profundidad efectiva.

Tabla 6. Contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) para cada horizonte identificado en el perfil de suelo de La Deseada - Allen.

Horizonte	Contenido de CaCO_3	Descripción
Ap	X	Ligeramente carbonatado
Bw1	XX	Moderadamente carbonatado
Bw2	XXX	Muy carbonatado
Ck	XXXX	Muy fuertemente carbonatado

La textura y estratificación de los suelos de un sitio son factores determinantes de la dinámica hídrica. Al momento de iniciarse los ensayos en el sitio de estudio en el 2013, se tomaron muestras de suelo. Posteriormente, en 2016 cuando se realizó la descripción del perfil del suelo a partir de la observación de una calicata, se repitieron los análisis y se realizaron las curvas de capacidad hídrica.

De acuerdo a los análisis realizados en 2013 (Tabla 7), el suelo se presentó homogéneo, aunque con contrastes texturales y aumento de carbonato de calcio (CaCO_3) en profundidad (Tabla 6), posiblemente *per ascensum* (Apcarian *et al.*, 2014). Con una textura media a fina (franco limoso a franco arcillo limoso) y una notable estratificación y contraste textural y pH en pasta moderadamente alcalino. La conductividad eléctrica en el extracto de saturación indicó suelo salino y el porcentaje de saturación de sodio, suelo muy sódico (ver apartado 7.3). La descripción teórica de los perfiles edáficos plausibles de ser encontrados en el sitio de estudio fue confirmada con las determinaciones realizadas. En esta condición de suelo salino y muy sódico, el porcentaje de mortandad de plantas que se registraba en el establecimiento era de entre el 20 % y el 40 % según la zona del cuadro (Figura 22) ~~y el rendimiento no superaban las 4 toneladas por hectárea. El bajo rendimiento obtenido en el año 2013 también se corresponde a lo registrado para esta temporada en general, en donde se observó una merma importante de rendimiento por una baja acumulación de frío y condiciones de bajas temperaturas y lluvias durante el período de floración (Rodríguez y Raffo, 2013).~~

Tabla 7. Análisis de suelo a tres profundidades en La Deseada - Allen. 2013.

Profundidad (m)	0-0,30	0,30-0,60	0,60-0,90
Textura	franco / franco limoso	franco arenoso	franco arcillo limoso
pH (pasta)	8,2	8,39	8,1
CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	14,5	13,7	12,9
MO (%)	1,1	0,33	0,2
CIC ($\text{meq}/100\text{g}$)	27,8	28,9	33,8
PSI	57,9	56,4	54,1
RAS	48,8	53,2	37,5



Figura 22. Estado general del monte frutal en el sitio de estudio evaluado. Noviembre de 2013.

Las fuertes limitantes de sodicidad y salinidad que fueron observadas en los análisis de suelo del 2013, hicieron necesaria la implementación de un programa de mejoras de la condición de drenaje, de acuerdo al manejo recomendado para el cultivo de cerezos. El mismo se inició con un subsolado en el invierno de 2014 y fue complementado con la limpieza del colector de drenaje. Para la corrección de la sodicidad, una vez mejorado el drenaje parcelario, se aplicó yeso y luego se procedió al lavado como parte de las medidas correctivas. Posteriormente se repusieron las plantas muertas. A las medidas de remediación del suelo realizadas se le sumó la puesta en operación en la primavera de 2014, de la defensa activa de heladas por aspersión que propició el lavado de sales, de acuerdo a lo sugerido por Mendia e Irisarri (1995). La rehabilitación del suelo no sólo mejoró la condición para el cultivo de cerezas, sino que además favoreció el desarrollo de coberturas verdes en el interfilas con la subsecuente mejora de la condición de infiltración (Aruani, 2009).

En 2016, se abrió una calicata para realizar una descripción detallada del perfil del suelo. Se observaron raíces medias y finas en los horizontes Ap y Bw1, hasta 0,60 m de profundidad (ficha descripción de suelo en Anexo IV). Se observó un aumento en profundidad del contenido de CaCO_3 que fue corroborado por los análisis físico-químicos (Tabla 6 y Tabla 8). Si bien el suelo se presentó homogéneo, se observaron pequeños contrastes texturales (Figura 24) y se detectó como principal limitación la dureza en seco ocasionada por el contenido de arcilla y CaCO_3 . Se recomendó la implantación de una pastura para continuar con la mejora de la calidad del sitio.

El perfil del suelo presentó textura fina (franco arcillo limoso a arcillo limoso), con pH en pasta ligeramente alcalino. La conductividad eléctrica medida en los extractos de saturación indicó suelo

ligeramente salino. Según la relación de adsorción de sodio (RAS) y el contenido de carbonato de calcio se determinó suelo no sódico y moderadamente calcáreo (Tabla 8), observándose un notable cambio en la condición detectada en 2013. Las planillas completas se adjuntan en el Anexo III: análisis de suelo.

Tabla 8. Análisis de suelo a partir de los perfiles descriptos para La Deseada - Allen. 2016.

Horizonte	Ap	Bw1	Bw2	Ck
Profundidad (m)	0 - 0,20	0,20 - 0,60	0,60 - 0,90	0,90 - 1,07
Textura	franco limoso	franco arcillo limoso	arcillo limoso	arcillo limoso
pH	7,86	7,75	7,5	7,81
CE (dS.m ⁻¹)	5,74	4,78	2,09	2,4
MO (%)	3,86	-	-	-
Ca ₂ CO ₃	4,12	3,7	8,81	10,92
RAS	7	5,88	4	4,31

Se descalzaron 3 plantas del sector con mayor mortandad de plantas y se observaron raíces poco profundas, con un desarrollo horizontal (Figura 23), que se corresponden con lo que ocurre en suelos con influencia de una freática superficial o con la presencia de una capa compactada (Kozlowski, 1979), ambas condiciones comprobadas en el sitio estudiado.



Figura 23. Plantas con raíces superficiales y horizontalizadas extraídas del sitio de estudio.

Los efectos nocivos registrados en los cultivos frente a condiciones de anegamiento se relacionan directamente con la concentración de oxígeno disponible para las raíces (Moreno y Fischer, 2014; Schaffer *et al.*, 2006) y su conductividad hidráulica (Kozlowski, 1997). La saturación del suelo determina además el patrón de crecimiento radicular y condiciona la capacidad de exploración (Aruani, 2009; Nolting, 1976).

La presencia de carbonatos en el perfil sumada a la estacionalidad de la napa freática (Tabla 6) concentró los carbonatos que, en seco, posiblemente generaron un horizonte endurecido. Se sabe que las características texturales inciden fuertemente en el movimiento de agua en el suelo y son determinantes para definir la altura de la napa condicionando el ascenso capilar, la capacidad de retención de agua y el patrón de distribución radicular del cultivo que se implante en el sitio (Liu *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 1995; Mendía e Irisarri, 1995).



Figura 24. Calicata del sitio de estudio de La Deseada - Allen en la que se observa el perfil de humedecimiento y la posición de la tabla de agua.

Las curvas de capacidad hídrica se realizaron con el fin de establecer los valores de las constantes hídricas del suelo, las constantes hídricas resultan imprescindibles para la interpretación del contenido de agua del perfil. No se observaron diferencias en la capacidad de retención de agua a las tres profundidades muestreadas (Tabla 9), en concordancia con la homogeneidad observada, a pesar de las diferencias texturales, al realizar la descripción del perfil (apartado 4.2.1).

Tabla 9. Succión matriz y contenido de humedad en % de volumen de La Deseada - Allen.

Allen - La Deseada SA			
Succión Matriz kPa	Contenido de humedad v%v		
	0-0,30 m	0,30-0,60 m	0,60-0,90 m
10	53	43	39
30	35	34	33
100	29	29	29
300	23	24	25
1500	19	17	15

Los valores de las curvas obtenidas coinciden en las tres profundidades muestreadas, salvo en el inicio, en donde la capacidad hídrica del suelo a los 0-30 cm fue mayor (Figura 22), y corresponde a los 10 kPa de succión de matriz.

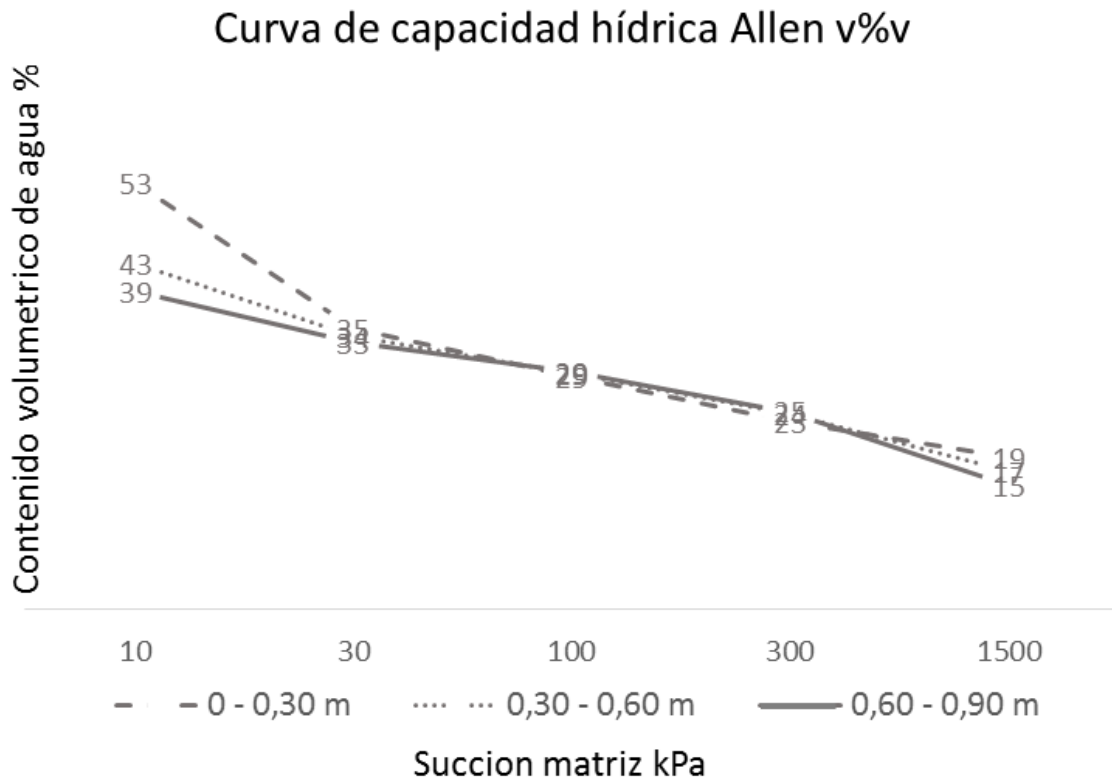


Figura 25. Curva de capacidad hídrica La Deseada - Allen

Las curvas de capacidad hídrica permitieron determinar los puntos de capacidad de campo y marchitez permanente (**agregar los valores de CC y PMP**). La definición de las constantes hídricas del suelo resultó imprescindible para la interpretación de los datos de los sensores de humedad, ya que a partir de sus valores se calculó el agua útil y se definió el porcentaje de contenido volumétrico que representa la condición de saturación de ese suelo (Grassi, 1998; Campbell, 2008; Pereira *et*

al., 2010). La estratificación de los suelo y la variabilidad espacial de sus características texturales (Apcarian *et al.*, 2014; Mendia e Irisarri, 1995; CYL-AyEE, 1991; Bestvater y Casamiquela, 1983) suponen comportamientos no uniformes para el movimiento del agua no solo en términos de la capacidad de retención, sino también frente al drenaje y el ascenso capilar (Lui *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2013).

4.2.2 Programación del riego localizado

El manejo del riego resulta un aspecto de suma importancia para el adecuado desarrollo de los cerezos. Sin embargo, en el sitio evaluado, se registraron otros aportes de agua que deberán ser tenidos en cuenta para el manejo del monte frutal. La programación del riego resulta necesaria para ordenar la información de las entradas y salidas de agua al perfil radicular y cumplir adecuadamente con los principales objetivos del riego, que consisten en la aplicación de agua en el momento oportuno y la cantidad necesaria. Con el balance hídrico se registró y sistematizó la información en planillas de cálculo.

La ET_c calculada para el cultivo de cerezas en la zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén para la temporada de crecimiento, entre el 20 de septiembre y el 30 de abril, fue de 826 mm para el promedio de la serie 2004–2016 y de 916 mm, 808 mm y 812 mm para las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016 respectivamente (Tabla 10). Se calcularon las láminas usando valores diarios que luego se promediaron cada 10 días. De acuerdo al esquema de cálculo de las necesidades de riego presentado en el apartado 3.2.4, a la necesidad neta de riego representada por la ET_c, se le incorporó la eficiencia de aplicación, el requerimiento de lixiviación y el coeficiente de uniformidad del equipo, la lámina total de agua a aplicar se incrementó un 30%.

Tabla 10. Cálculo de las necesidades netas y totales de riego (mm.día^{-1}). Se calcularon los promedios diarios en periodos de 10 días para todo el ciclo del cultivo. Al pie de la tabla se resumen el valor para el periodo 2004-2016 (serie de datos para cálculo de valores medios) y para cada temporada de análisis (2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016), expresado en mm.año^{-1} .

	Necesidad Neta Riego (mm.día^{-1})				Necesidad Total Riego (mm.día^{-1})			
	Etc							
	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016
30-Sept	0,75	0,75	0,79	0,49	0,98	0,98	1,04	0,64
10-Oct	2,21	2,5	1,2	1,8	2,89	3,26	1,57	2,35
20-Oct	2,48	2,79	2,56	2,63	3,24	3,65	3,34	3,44
31-Oct	3	2,99	3,21	2,58	3,92	3,91	4,19	3,37
10-Nov	4,7	4,97	4,44	4,92	6,15	6,5	5,8	6,43
20-Nov	4,85	5,69	5,37	5,44	6,34	7,43	7,02	7,1
30-Nov	4,91	4,88	5,02	4,74	6,42	6,38	6,56	6,2
10-Dic	5,76	6,78	5,58	5,64	7,53	8,87	7,29	7,37
20-Dic	5,73	6,15	5,62	6,32	7,48	8,03	7,35	8,26
31-Dic	5,65	6,97	6,01	5,35	7,38	9,11	7,85	7
10-Ene	5,75	7,34	5,94	4,31	7,52	9,59	7,77	5,63
20-Ene	5,57	5,87	5,49	5,77	7,28	7,67	7,18	7,54
31-Ene	5,02	5,93	5,42	4,18	6,56	7,76	7,08	5,47
10-Feb	4,76	5,92	4,85	3,8	6,22	7,73	6,34	4,97
20-Feb	4,15	3,5	4,38	5,26	5,42	4,57	5,72	6,88
28-Feb	3,51	3,99	3,82	4,35	4,59	5,22	4,99	5,68
10-Mar	2,93	3,7	3,34	2,76	3,82	4,84	4,37	3,61
20-Mar	2,74	3,81	3,05	3,16	3,58	4,98	3,99	4,14
31-Mar	2,35	2,67	2,36	2,42	3,07	3,49	3,08	3,16
10-Abr	1,76	1,18	1,77	1,37	2,3	1,54	2,32	1,8
20-Abr	1,62	1,93	1,55	1,66	2,12	2,52	2,03	2,17
30-Abr	1,36	1,31	0,95	1,2	1,78	1,72	1,24	1,57
	826	916	808	812	1079	1197	1056	1061
	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016
	Etc							
	Necesidad Neta Riego (mm.año^{-1})				Necesidad Total Riego (mm.año^{-1})			

Una vez estimada la necesidad neta de riego, se calculó el tiempo de riego a partir del marco de plantación, el caudal de los emisores y el número de emisores por planta (Tabla 11). Esta información resulta de utilidad para el manejo de la frecuencia de riego y su cálculo completo se detalla en el Anexo VII: balance hídrico para la programación del riego.

Tabla 11. Necesidad total (mm.día^{-1}) y tiempo de riego (h.día^{-1}) de acuerdo al marco de plantación, caudal y número de emisores. Se calcularon los promedios diarios en periodos de 10 días para todo el ciclo del cultivo. Al pie de la tabla se resume el valor de lámina total para la serie 2004-2016 y para cada temporada de análisis (2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016) en mm.año^{-1} .

	Necesidad Total Riego (mm.día^{-1})				Tiempo de Riego (h.día^{-1})			
	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016
30-Sept	0,98	0,98	1,04	0,64	1,03	1,03	1,09	0,67
10-Oct	2,89	3,26	1,57	2,35	3,04	3,43	1,64	2,46
20-Oct	3,24	3,65	3,34	3,44	3,4	3,84	3,51	3,61
31-Oct	3,92	3,91	4,19	3,37	4,12	4,11	4,4	3,54
10-Nov	6,15	6,5	5,8	6,43	6,46	6,82	6,09	6,75
20-Nov	6,34	7,43	7,02	7,1	6,66	7,8	7,37	7,46
30-Nov	6,42	6,38	6,56	6,2	6,75	6,7	6,89	6,51
10-Dic	7,53	8,87	7,29	7,37	7,9	9,31	7,65	7,74
20-Dic	7,48	8,03	7,35	8,26	7,86	8,44	7,71	8,67
31-Dic	7,38	9,11	7,85	7	7,75	9,57	8,25	7,35
10-Ene	7,52	9,59	7,77	5,63	7,9	10,07	8,15	5,91
20-Ene	7,28	7,67	7,18	7,54	7,65	8,05	7,54	7,92
31-Ene	6,56	7,76	7,08	5,47	6,89	8,14	7,43	5,74
10-Feb	6,22	7,73	6,34	4,97	6,53	8,12	6,66	5,22
20-Feb	5,42	4,57	5,72	6,88	5,69	4,8	6,01	7,22
28-Feb	4,59	5,22	4,99	5,68	4,82	5,48	5,24	5,96
10-Mar	3,82	4,84	4,37	3,61	4,02	5,08	4,59	3,79
20-Mar	3,58	4,98	3,99	4,14	3,76	5,23	4,19	4,34
31-Mar	3,07	3,49	3,08	3,16	3,23	3,66	3,24	3,32
10-Abr	2,3	1,54	2,32	1,8	2,42	1,61	2,43	1,89
20-Abr	2,12	2,52	2,03	2,17	2,23	2,65	2,13	2,28
30-Abr	1,78	1,72	1,24	1,57	1,87	1,8	1,3	1,65
	1079	1212	1095	1054	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016
	2004_2016	2013_2014	2014_2015	2015_2016	Tiempo de Riego (h.día^{-1})			
	Necesidad Total Riego (mm.año^{-1})							

A partir de los registros del número de defensas activas de heladas primaverales realizadas por aspersión para cada temporada y de la lámina aplicada en cada defensa se calculó la lámina total para cada año (Tabla 12). La mínima lámina aplicada ocurrió en el año 2013 (356 mm) y la máxima en el 2015 (767 mm).

Tabla 12. Lámina aplicada en la defensa por aspersión para cada temporada, La Deseada - Allen.

Año	Numero de defensas	Tiempo medio (h)	Lamina por defensa (mm)	Lamina total (mm.año^{-1})
2013	6	9	59	356
2014	9	7	46	416
2015	14	8,3	55	767
2016	11	9,3	61	675

4.2.3 Evaluación de los niveles freáticos

A partir del análisis de las lecturas de los freatómetros instalados en el sitio, se constató que el nivel freático estuvo a una profundidad menor a 1,2 m durante toda la temporada de crecimiento 2013-2014 (octubre-marzo) y durante la primavera-verano de la temporada 2014 - 2015 (Figura 26). Se observó una correspondencia con lo detectado en los mapas de primavera otoño e invierno obtenidos con el modelo espacial del comportamiento del nivel freático (Figuras 16, 17 y 18), en dónde se vio una mayor influencia de la napa en la primavera, con un descenso paulatino en otoño y poca influencia en el invierno y verano. De todas maneras, al comparar los hidrogramas se observa que los valores medios de profundidad de la napa en Allen resultaron más profundos que los del área piloto (Figura 14 y Figura 26) en los momentos críticos.

Los niveles freáticos más superficiales, con valores menores 1,2 m, se registraron en octubre y noviembre. La recarga en octubre, además de responder a la puesta en operación del sistema de riego, se incrementa con el agua aplicada durante las defensas de heladas activas por aspersión (ver apartado 4.2.2). El registro de abril se correspondió con una tormenta con alta precipitación, que se vio reflejada en los registros de los sensores de humedad del suelo.

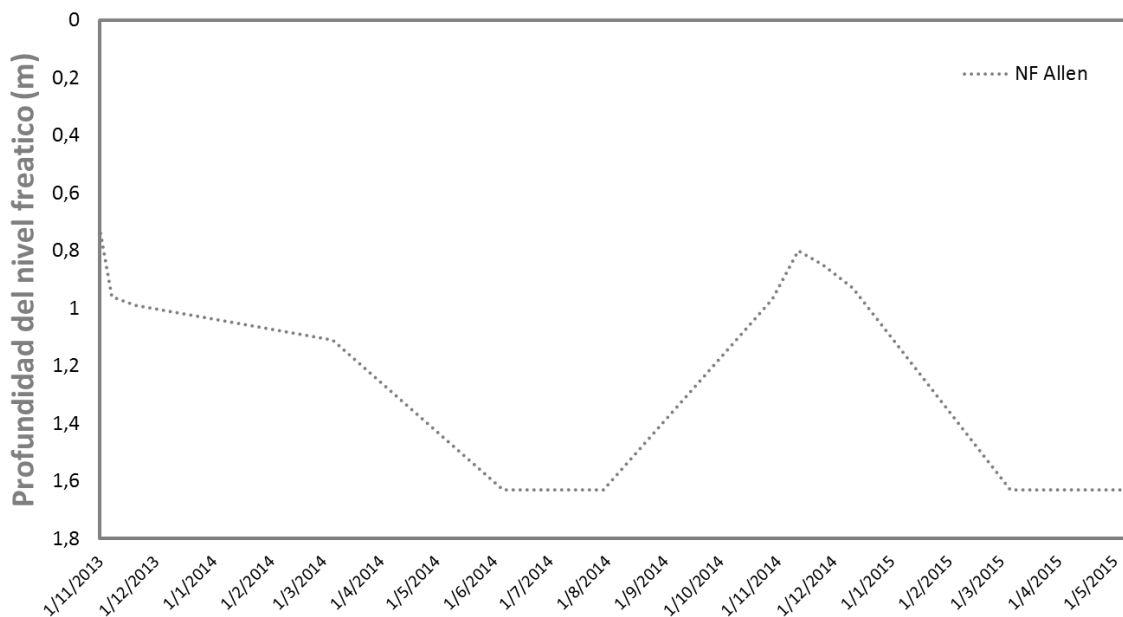


Figura 26. Hidrograma del sitio de estudio, La Deseada - Allen.

4.2.4 Contenido de agua del suelo, profundidad del nivel freático y ascenso capilar

Se graficaron los contenidos volumétricos de agua del suelo (VWC) de acuerdo a los registros obtenidos de los sensores de humedad a 0,30 m, 0,60 y 0,90 m y la profundidad del nivel freático para cada temporada evaluada (Figuras 27, 28 y 29).

Cuando se calculó el ascenso capilar con el software UPFLOW, se detectó como limitante al ascenso de agua capilar desde la freática el elevado contenido de humedad del suelo registrado en

los sensores a 0,30 m o a 0,60 m, dependiendo de la temporada. Por ese motivo, para la simulación con el software, se consideró el valor más alto de humedad de suelo de la zona radicular, que en algunos casos no fue el observado entre la superficie y los 0,30 m, sino entre los 0,30 m y los 0,60 m.

Para la temporada 2013-2014, el contenido de agua en la zona radicular, donde se encuentra la mayoría de las raíces finas y activas está entre la superficie y los 0,60 m de acuerdo a lo observado en la descripción del perfil de suelo (Anexo IV: ficha de descripción del perfil del suelo) y estuvo en torno al punto de capacidad de campo durante toda la temporada de riego (Figura 27). A los 0,90 m el contenido de agua del suelo respondió en general a las fluctuaciones del nivel freático.

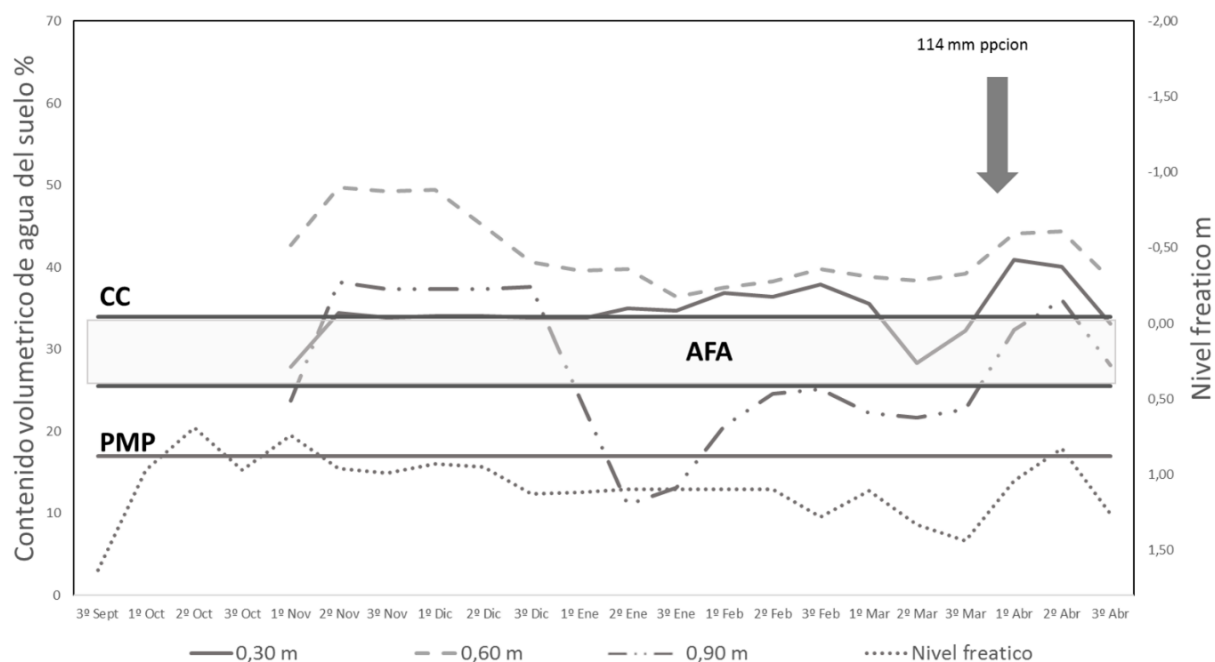


Figura 27. Contenido volumétrico de agua del suelo y nivel freático para los 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m en La Deseada - Allen durante la temporada 2013-2014. Los umbrales corresponden a las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (CC), agua fácilmente aprovechable (AFA) y punto de marchitez permanente (PMP). La flecha indica la ocurrencia de un evento de precipitación extremo.

Tabla 13. Cálculo de ascenso capilar para la temporada 2013-2014 en La Deseada - Allen.

Año	Fecha	ETc media decadaria (mm.día ⁻¹)	Precipitación Σ decadaria (mm)	NF medio decadario (m)	UPFLOW (mm.día ⁻¹)	Humedad del suelo VWC %				
						0,30 m	0,60 m	0,90 m		
2013	30-Sept	0,8	1,4	1,63	0	28	43	24		
2013	10-Oct	2,5	5,2	0,97	2,5	28	43	24		
2013	20-Oct	2,8	2,4	0,69	2,8	28	43	24		
2013	31-Oct	3	3,6	0,97	0	28	43	24		
2013	10-Nov	5	0	0,74	2,6	28	43	24		
2013	20-Nov	5,7	0	0,96	0	34	50	38		
2013	30-Nov	4,9	0,2	0,99	0	34	49	37		
2013	10-Dic	6,8	0,2	0,93	0	34	49	37		
2013	20-Dic	6,1	0	0,95	0	34	49	37		
2013	31-Dic	7	0	1,13	2,5	34	41	38		
2014	10-Ene	7,3	0	1,12	2,6	34	40	11		
2014	20-Ene	5,9	0	1,1	2,7	35	40	11		
2014	31-Ene	5,9	0	1,1	3,1	35	36	13		
2014	10-Feb	5,9	0	1,1	3	37	38	21		
2014	20-Feb	3,5	9	1,1	2,9	36	38	25		
2014	28-Feb	4	0,2	1,28	2,2	38	40	25		
2014	10-Mar	3,7	0	1,11	2,8	36	39	22		
2014	20-Mar	3,8	0,2	1,33	2,3	28	38	22		
2014	31-Mar	2,7	0	1,44	1,9	32	39	23		
2014	10-Abr	1,2	114,6	1,04	0	41	44	32		
2014	20-Abr	1,9	1	0,83	0	40	44	36		
2014	30-Abr	1,3	1	1,26	1,3	33	39	28		
		222	916	139			352	35	42	27
		Días	ETc mm	Precipitación			q mm	VWC_%_MEDIO		

El aporte capilar hacia la zona radicular para la temporada 2013 – 2014 fue de 352 mm (Tabla 13) y representó el 38 % de la demanda evapotranspiratoria del cultivo de cerezas. El contenido volumétrico de agua medio más elevado, se registró a 0,60 m.

Para la temporada 2014-2015 se observó un comportamiento errático en la humedad del suelo a 0,30 m, que podría deberse a un manejo inadecuado del riego (Figura 28). A 0,60 m la humedad del suelo expresada por los registros de los sensores de suelo, fue uniforme y se encontró siempre por encima de capacidad de campo, mientras que el comportamiento a 0,90 m respondió a las fluctuaciones en el nivel freático (Figura 28).

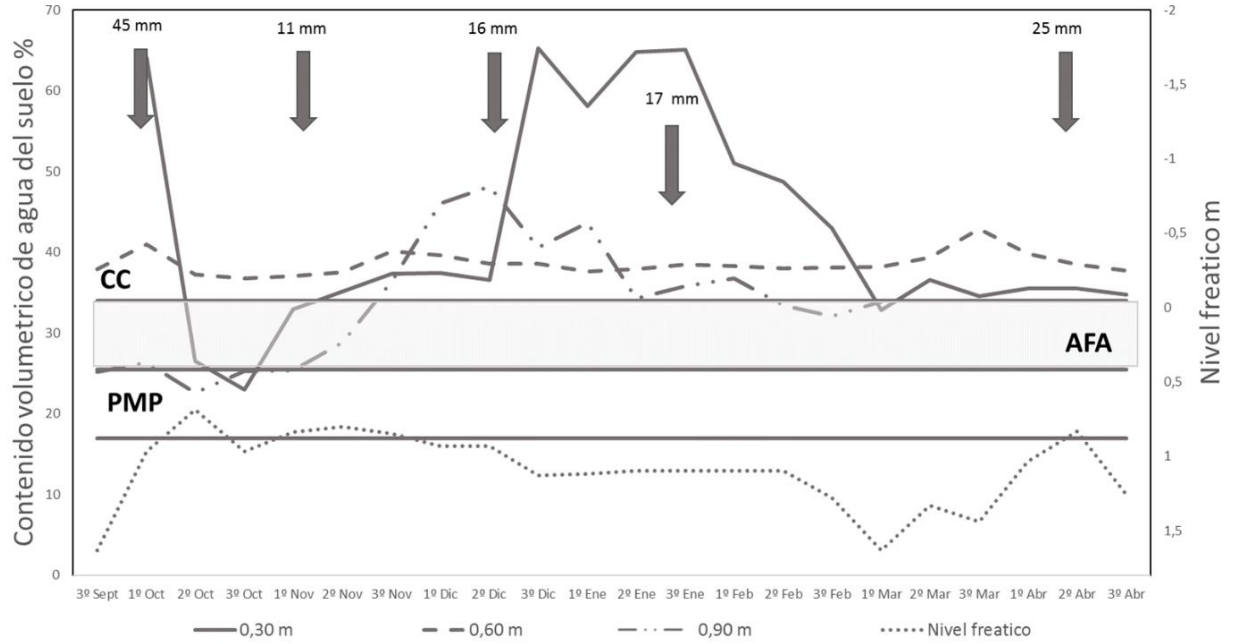


Figura 28. Contenido volumétrico de agua del suelo y nivel freático para los 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m en La Deseada - Allen durante la temporada 2014-2015. Los umbrales corresponden a las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (CC), agua fácilmente aprovechable (AFA) y punto de marchitez permanente (PMP). Las flechas indican la ocurrencia de eventos de precipitación.

Tabla 14. Cálculo de ascenso capilar para la temporada 2014-2015, La Deseada - Allen.

Año	Fecha	ETc media decadaria (mm.día ⁻¹)	Precipitación Σ decadaria (mm)	NF medio decadario (m)	UPFLOW (mm.día ⁻¹)	Humedad del suelo VWC %				
						0,30 m	0,60 m	0,90 m		
2014	30-Sept	0,8	4,2	1,63	0,8	sd	38	25		
2014	10-Oct	1,2	44,8	0,97	0	64	41	26		
2014	20-Oct	2,6	0	0,69	2,6	27	37	23		
2014	31-Oct	3,2	0,2	0,97	3,2	23	37	25		
2014	10-Nov	4,4	11,4	0,84	3,7	33	37	25		
2014	20-Nov	5,4	0	0,8	3,8	35	37	29		
2014	30-Nov	5	0,2	0,85	3,4	37	40	36		
2014	10-Dic	5,6	0	0,93	3,2	37	40	46		
2014	20-Dic	5,6	16,2	0,93	3,2	37	39	48		
2014	31-Dic	6	0	1,13	0	65	39	41		
2014	10-Ene	5,9	0	1,12	0	58	38	44		
2015	20-Ene	5,5	0	1,1	0	65	38	34		
2015	31-Ene	5,5	17,4	1,1	0	65	38	36		
2015	10-Feb	4,8	8,4	1,1	0	51	38	37		
2015	20-Feb	4,4	9	1,1	0	49	38	33		
2015	28-Feb	3,8	2	1,28	0	43	38	32		
2015	10-Mar	3,3	1,2	1,63	1,5	33	38	34		
2015	20-Mar	3,1	0	1,33	2,2	37	39	sd		
2015	31-Mar	2,4	0	1,44	0	35	43	sd		
2015	10-Abr	1,8	0	1,04	1,8	36	40	sd		
2015	20-Abr	1,6	25,4	0,83	1,6	36	38	sd		
2015	30-Abr	0,9	0,2	1,26	0,9	35	38	sd		
		222	808	91,6			311	45	39	38
		Días	ETc mm	Precipitación			q mm	VWC_%_MEDIO		

En la temporada 2014 - 2015 el aporte capilar hacia la zona radicular fue de 311 mm (Tabla 14) y representó el 38 % de la demanda evapotranspiratoria del cultivo para el periodo evaluado. El contenido volumétrico de agua más elevado se registró esta vez en el sensor a 0,30 m.

Durante la temporada 2015-2016, la humedad del suelo en la zona radicular resultó elevada pero más estable que en la temporada anterior, con contenidos de agua coincidentes con el valor de capacidad de campo a 0,30 m hasta el mes de diciembre, y posteriormente oscilantes entre capacidad de campo y agua fácilmente aprovechable. La humedad a 0,90 m, al igual que en las temporadas anteriores, respondió a las fluctuaciones del nivel freático (Figura 29).

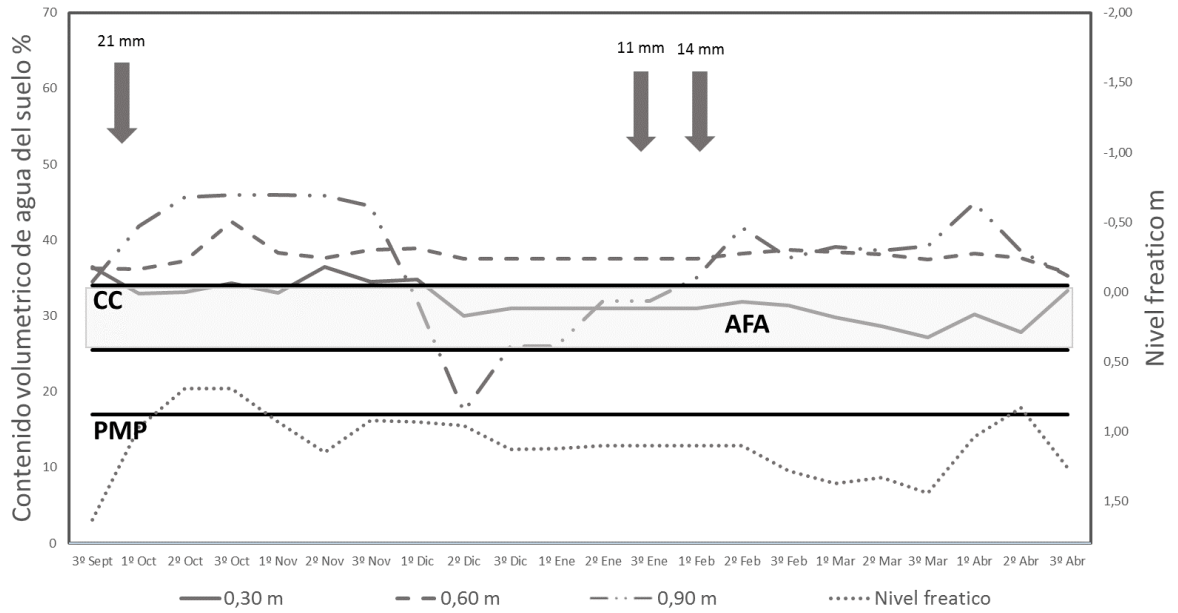


Figura 29. Contenido volumétrico de agua del suelo y nivel freático para los 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m en La Deseada - Allen durante la temporada 2015-2016. Los umbrales corresponden a las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (CC), agua fácilmente aprovechable (AFA) y punto de marchitez permanente (PMP). Se indican las precipitaciones relevantes con flechas.

Tabla 15. Calculo de ascenso capilar para la temporada 2015 - 2016, La Deseada - Allen.

Año	Fecha	ETc media decadaria (mm.día ⁻¹)	Precipitación Σ decadaria (mm)	NF medio decadario (m)	UPFLOW (mm.día ⁻¹)	Humedad del suelo VWC %		
						0,3	0,6	0,9
2015	30-Sept	0,5	24,4	1,63	0,5	36	36	34
2015	10-Oct	1,8	6,6	0,97	1,8	33	36	42
2015	20-Oct	2,6	2,4	0,69	2,6	33	37	46
2015	31-Oct	2,6	1,4	0,69	2,6	34	42	46
2015	10-Nov	4,9	0	0,93	3,3	33	38	46
2015	20-Nov	5,4	0	1,15	2,8	36	38	46
2015	30-Nov	4,7	0,8	0,92	3,3	34	39	44
2015	10-Dic	5,6	0	0,93	3,2	35	39	sd
2015	20-Dic	6,3	0,2	0,96	3,2	30	38	17
2015	31-Dic	5,6	0	1,13	2,8	31	38	sd
2016	10-Ene	4,2	9,4	1,12	2,9	31	38	sd
2016	20-Ene	5,8	0	1,1	2,9	31	38	sd
2016	31-Ene	5,1	13,4	1,1	3	31	38	sd
2016	10-Feb	3,8	15,4	1,1	2,9	31	38	sd
2016	20-Feb	5,3	5,8	1,1	2,9	32	38	42
2016	28-Feb	4,3	6,4	1,28	2,3	31	39	38
2016	10-Mar	2,8	2,2	1,37	2,2	30	38	39
2016	20-Mar	3,2	0	1,33	2,3	29	38	39
2016	31-Mar	2,4	0,2	1,44	2,1	27	37	39
2016	10-Abr	1,4	10,6	1,04	1,4	30	38	45
2016	20-Abr	1,7	2,8	0,83	1,7	28	38	39
2016	30-Abr	1,2	1,4	1,26	1,2	33	36	35
		222	812	103,4	539	32	38	40
		Días	ETc mm	Precipitación	q mm	VWC_%_MEDIO		

En la temporada 2015 - 2016 el aporte capilar calculado hacia la zona radicular fue de 539 mm (Tabla 15) y representó el 66 % de la demanda evapotranspiratoria del cultivo para el periodo evaluado. El contenido volumétrico de agua más elevado se registró en el sensor a 0,90 m de profundidad. Durante este periodo se observó el aporte de agua capilar hacia la zona radicular más alto, que fue favorecido por el gradiente de potenciales desde la freática.

El contenido volumétrico de agua del suelo fue en todas las temporadas mayor a capacidad de campo y presentando los mayores promedios a los 0,60 m de profundidad, posiblemente por la recarga causada por la defensa activa de heladas primaverales. Por otra parte, a los 0,90 m la humedad del suelo estuvo asociada a las fluctuaciones de la tabla de agua (Figura 27, Figura 28 y Figura 29), verificándose en los valores expresados el aporte capilar desde la freática.

En las temporadas 2013-2014 y 2014-2015 el aporte de agua estimado estuvo en torno al 40 % de la demanda de agua del cultivo. Mientras que para la temporada 2015-2016 el aporte fue del 66 % en relación a la ETc (Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15). En todos los casos resultó proporcionalmente

menor al calculado para montes frutales con riego gravitacional (Galeazzi y Aruani, 2019; Mañueco *et al.*, 2018) debido a las diferencias en el gradiente de potenciales del suelo que caracterizan cada método de riego (Pereira *et al.*, 2010; Raes *et al.*, 2002). Para realizar ajustes en los cronogramas de riego localizado, deberían desarrollarse otras experiencias a fin de comprender mejor y cuantificar con más precisión el aporte capilar de acuerdo a los gradientes de potencial de cada método de riego.

4.2.5 Balance hídrico

De acuerdo a lo observado y discutido en los apartados 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4, es necesario replantear el esquema de cálculo propuesto para la realización del balance hídrico, ya que como pudo corroborarse, el contenido de agua del suelo se ve afectado no solo por el riego sino también por el ascenso de agua capilar proveniente de la freática superficial estacional y por la aplicación de agua por aspersión para la defensa de heladas. Un nuevo esquema de cálculo se presenta en la figura 30.

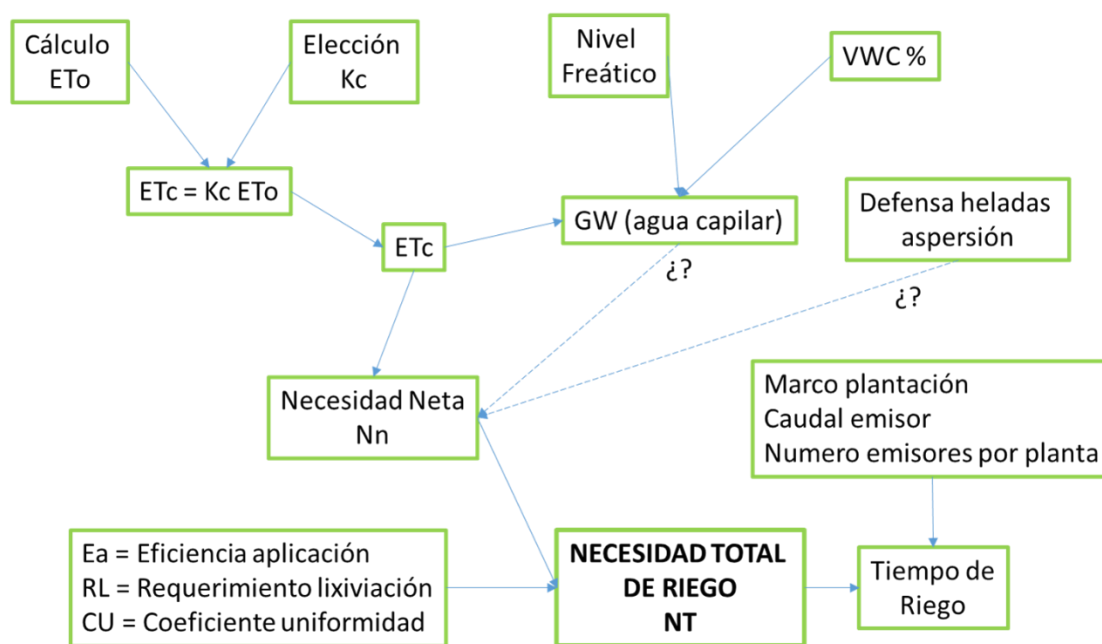


Figura 30. Esquema de cálculo para el balance hídrico, considerando el aporte de agua capilar y la defensa activa de heladas.

La cantidad y el momento en los que la lámina extra de agua ingresa al perfil del suelo por ascenso capilar y defensa activa de heladas, no pueden ser **controlados**, por lo que es difícil encontrar una metodología clara para su consideración en la programación del riego (Pizarro, 1996). Las acciones deberían entonces dirigirse a minimizar los impactos negativos de esos aportes de agua, de manera tal de disminuir la saturación del perfil radicular y evitar que el desarrollo del cultivo se vea afectado. Esto podría conseguirse manteniendo una adecuada condición de drenaje, evitando la salinización del suelo y reprogramando la frecuencia de los riegos.

En riegos por goteo, la textura del suelo es muy importante al momento de decidir aspectos del diseño agronómico como el número y caudal de los emisores o el tiempo de riego. En suelos

arenosos, en los que el principal movimiento de agua será el gravitacional, es necesario usar doble línea de goteo y controlar los tiempos de aplicación para evitar las pérdidas por percolación profunda. En suelos pesados, en cambio, debe evitarse el exceso de agua en el perfil (Podestá, 2015). A pesar de las recomendaciones teóricas de los riegos localizados de alta frecuencia, que sostienen que en suelos pesados se alcanza un régimen de humedad del suelo adecuado aplicando pequeñas dosis muy frecuentes (Pizarro, 1996), se ha demostrado que hay condiciones de suelo (alta capacidad de retención de agua, texturas finas) en las que se obtienen mejores resultados con riegos distanciados, ya que al disminuir la frecuencia y aumentar el tiempo de los riegos se logra formar un bulbo de mayor tamaño y con menos saturación (Ferreyra *et al.*, 2005). Podestá (2015) concuerda en que en suelos de textura fina los riegos diarios no dan buenos resultados, porque se producen zonas de mucha saturación y bulbos de pequeño tamaño.

Para poder espaciar los riegos, es necesario que el diseño sea adecuadamente diseñado para poder regar cada dos o tres días aplicando la lamina que reponga el agua consumida en ese intervalo de tiempo, alternando los sectores o aplicando más caudal (aunque sin que se llegue a acumular demasiada agua) en menos tiempo. En el caso del sitio evaluado, en los momentos de máxima demanda del cultivo el tiempo de riego puede llegar a ser de 9 o 10 h (Tabla 11) y si bien la capacidad de la bomba resulta suficiente los riegos podrían hacerse día por medio y no más espaciados.

De acuerdo a Podestá (2015), el exceso de riego además de ocasionar muerte de raíces finas y pelos radicales como consecuencia de la asfixia radicular, puede generar condiciones predisponentes para el desarrollo de algunas enfermedades fúngicas.

4.3 Respuesta de la planta

4.3.1 Potencial agua y conductancia estomática

De acuerdo al modelo presentado en el apartado metodológico 3.3, se aplicó un ANOVA factorial para el análisis de la conductancia estomática (g_s) y otro para el análisis del potencial agua (ψ_x).

Se consideró el Déficit de Presión de Vapor (VPD) y el registro del contenido volumétrico de agua del suelo (VWC) para el período en el que se midieron la g_s y el ψ_x de octubre 2015 a enero 2016 (Figura 31).

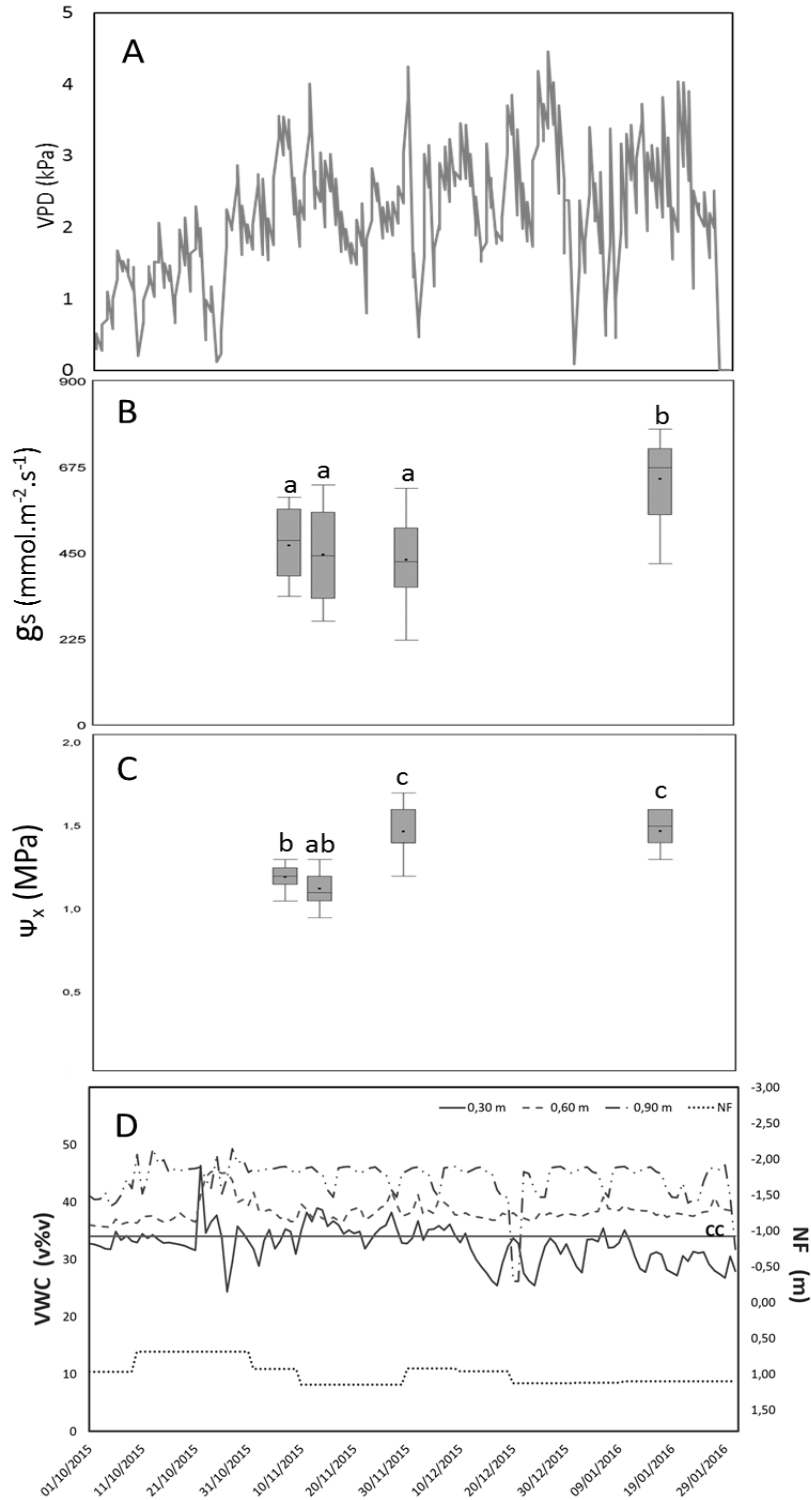


Figura 31. Relaciones hídricas en el continuo suelo-planta-atmósfera durante el periodo octubre 2015 a enero 2016: A) evolución del déficit de presión de vapor (VPD; kPa), B) conductancia estomática (g_s) medida en cuatro momentos: fin de endurecimiento de carozo, etapa III, cosecha y poscosecha; C) potencial agua xilemático al medio día, medido en los mismos momentos que g_s . D) evolución del contenido volumétrico de agua (VWC) a 0,30, 0,60 y 0,90 m de profundidad y altura del nivel freático.

Los valores de VPD del periodo considerado para las mediciones de respuesta de la planta se presentan en la Figura 31 A, y se observa que en todos los casos las mediciones de g_s y ψ_x fueron

realizadas en días con valores superiores a 2,7 kPa. Valores de VPD superiores a 1,5 kPa han demostrado causar cierre estomático y disminución en las tasas de fotosíntesis (Schaffer y Andersen, 1994), considerándose como la condición medioambiental óptima el rango de 1 a 1,5 kPa (Beckman *et al.*, 1992). Si bien las condiciones en las que se realizaron las mediciones en cuanto a VPD implicarían algún nivel de estrés, no se pudo detectar con la frecuencia utilizada una respuesta clara en las plantas.

Los valores de conductancia estomática medidos en los tres momentos del mes de noviembre fueron menores a los medidos en enero (Figura 31 B), en coincidencia con la humedad de suelo registrada, que fue mayor a la capacidad de campo no solo a los 0,60 y 0,90 m sino también en el estrato superior del suelo (Figura 31 B y D). La saturación de agua del suelo podría afectar negativamente el intercambio gaseoso en árboles frutales como una primera respuesta al estrés por anegamiento (Yoon y Richter, 1990; Beckman *et al.*, 1992; Gil *et al.*, 2007; Moreno y Fischer, 2014; Ziegler *et al.*, 2017; Morandi *et al.*, 2019). Si bien la reducción de la conductancia estomática esta reportada como una de las respuestas más tempranas al exceso de agua en el suelo, no es consistente entre las distintas especies de acuerdo a su tolerancia y puede producirse con variaciones según la duración y la severidad del anegamiento (Kozlowsky, 1984; Beckman *et al.*, 1992; Schaffer *et al.*, 1992; Pallardy, 2008). En los registros de VWC del sitio de estudio, se observan valores de contenido de humedad del suelo correspondientes a saturación, aunque su duración y magnitud difiere de lo previamente reportado en ensayos específicos con anegamiento inducido y condiciones medioambientales controladas (Flore *et al.*, 1984; Beckman *et al.*, 1992; Nicolás *et al.*, 2005; Insausti y Gorjon, 2013; Pérez Jiménez *et al.*, 2017) en los que en general las situaciones son más extremas, ya que se utilizan plantas jóvenes en macetas y se inunda por periodos prolongados. En estudios locales realizados en cerezas cv Santina/SL64 sobre suelos saturados se pudo determinar una caída diaria de la gs de entre 600-800 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a 350-500 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, que se correlacionó positivamente con el aumento de la temperatura de aire durante el transcurso del día y con valores de DPV de -1,8 kPa (Mañueco *et al.*, 2015 a y b).

Los mecanismos fisiológicos que intervienen en la limitación de la tasa neta de asimilación de CO_2 han sido modelados, estimando que la importancia relativa de la regulación estomática y la no estomática son similares en periodos cortos (Beckman *et al.*, 1992). La disminución en la conductancia estomática es considerada un proceso reversible, aunque si se da en forma cíclica, la recuperación es cada vez menor. En eventos de saturación estacional y repetidos a lo largo de los años, como los observados en el sitio de estudio, se podría esperar una disminución en la capacidad de recuperación de las plantas como fue detectado previamente en distintas especies frutales (Schaffer *et al.*, 1992).

Los valores de ψ_x fluctuaron entre -1,1 a -1,5 MPa (Figura 31 C) y si bien se observaron diferencias significativas entre las mediciones de noviembre y las de enero, en general se encontraron dentro de los rangos esperados para frutales de carozo en condiciones de manejo de agua adecuados (Faust, 1989; Shackel *et al.*, 1997; Naor, 2004; Mañueco *et al.*, 2014; Moreno y Fischer, 2014; Ziegler *et al.*, 2017). Contrariamente, en cerezas ‘Bing’ valores de potencial hídrico xilemático a mediodía fluctuaron entre -1,36 a -1,53 MPa en condiciones de déficit hídrico, mientras que con un riego con reposición de un 100% de ETc los valores rondaron entre -0,6 y -0,88 MPa (Podestá,

2007). En este ensayo, los valores de ψ_x medidos fueron menos negativos en los momentos de mayor saturación de suelo (Figura 31 C y D), lo que no concuerda con la respuesta típica al anegamiento que incluye la ocurrencia de valores de ψ_x más negativos (Schaffer y Andersen, 1994). Si bien el ψ_x resulta un buen indicador del estado de la planta en condiciones de déficit hídrico, no refleja con igual consistencia la respuesta a una condición de suelo saturado, ya que no se genera pérdida de turgencia en las hojas. Se ha observado en arándanos, ψ_x similares entre plantas inundadas y no inundadas durante las primeras 3 a 5 semanas de inundación suponiendo entonces que el cierre estomático en condiciones de anegamiento no es inducido como resultado de un estrés hídrico asociado a la conductividad hidráulica de las raíces.

4.3.2 Crecimiento y calidad de frutos

Los rendimientos generales del cuadro fueron menores a las 15 tn esperadas para una variedad autofértil como Santina y presentaron ciertas fluctuaciones en el tiempo. En todos los años, la calidad de la producción presentó valores acordes a los determinados localmente como apropiados para la madurez comercial de la variedad: calibre: L-XL; firmeza: 70-80; SST: 16-18; AT; 0,6-1 y color: 3-4 (Raffo *et al.*, 2009; Candan *et al.*, 2017) (Tabla 16).

Tabla 16. Rendimiento e índices de madurez de cerezas cv Santina en La deseada, Allen.

Año	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Firmeza (g.mm ⁻¹)	Durofell	SS (%)	AT (%)	Diámetro (mm)	Color
2013	3500	449	59	17,6	0,7	26,6	3,9
2014	5800	544	67	18	1,0	26,1	4,2
2015	7000	573	70	16	0,9	27,5	3,1

Rendimientos menores a los esperados estarían asociados a la –falta de uniformidad del monte frutal, producto de la mortandad de plantas registrada como consecuencia del drenaje insuficiente y la elevada salinidad, que luego fueron corregidos.

El perfil de crecimiento de los frutos presentó la curva doble sigmoidea propia de los frutales de carozo, con una etapa I de crecimiento moderado hasta los 25 DDPF en la que predominó la división celular, una etapa II de crecimiento lento hasta los 30 DDPF que correspondió al endurecimiento de carozo y una etapa III de crecimiento muy rápido y expansión celular hasta cosecha (Figura 32). En la etapa III, la tasa de crecimiento fue máxima y alcanzó valores de 0,55 g.día⁻¹. El peso final de los frutos alcanzó un tamaño adecuado para la comercialización y exportación (Arjona, 2015; Marsal *et al.*, 2010; Raffo *et al.*, 2006; Gratacós *et al.*, 2005; San Martino *et al.*, 2005).

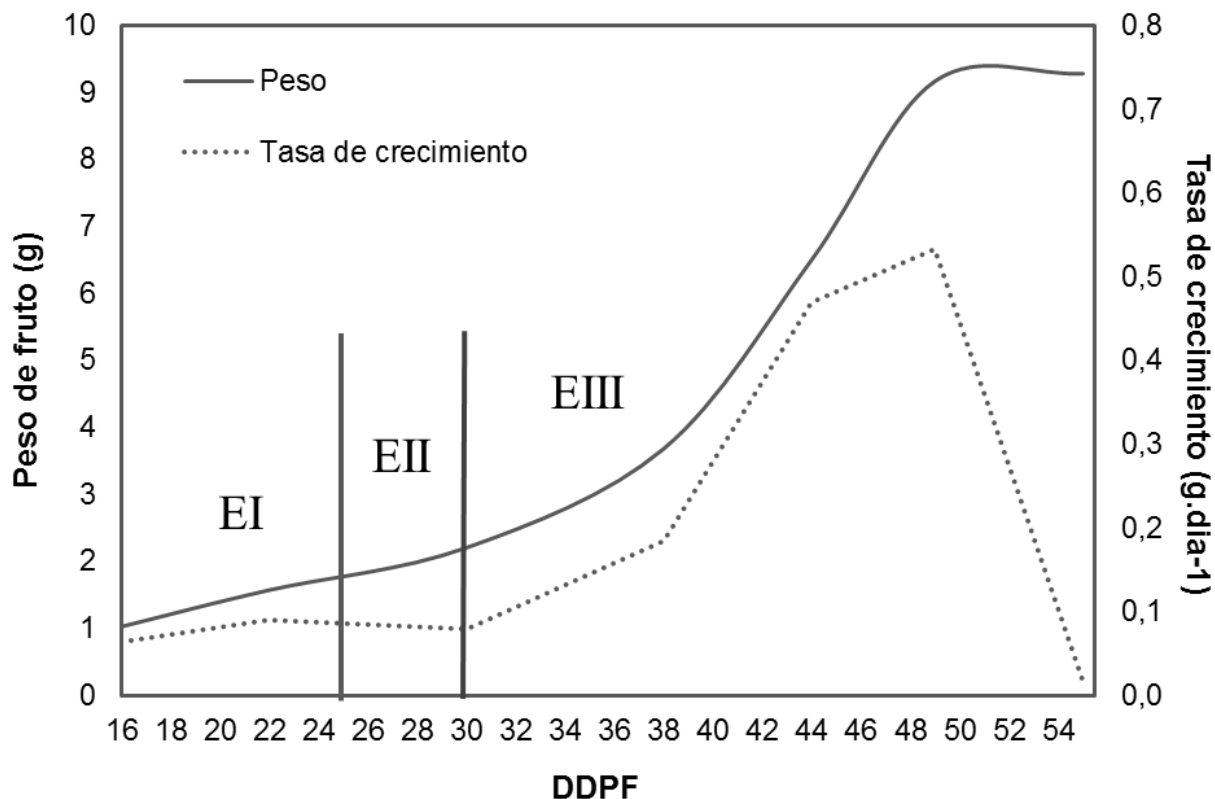


Figura 32. Evolución del peso de los frutos (g) y de las tasa de crecimiento ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$) en función de los días transcurridos desde la fecha de plena floración (DDPF) en La Deseada - Allen.

La obtención de fruta de calidad es importante dada la exigencia de los mercados internacionales, que demandan fruta de buen calibre, firmeza y contenido de sólidos solubles. El peso y el tamaño de las cerezas son importantes para su valor comercial (Vitrup Christensen, 1995), ya que el mercado requiere usualmente cerezas grandes (Kappel *et al.*, 1996), resultando una de las principales limitantes en la comercialización y exportación los frutos pequeños (Whiting y Ophardt, 2005). Se ha determinado por medio de encuestas a consumidores que éstos prefieren frutos de tamaños grandes, firmes y dulces (Bujdosó *et al.*, 2020). Frutos de entre 26 y 27 mm, como los obtenidos en las tres temporadas en el sitio de estudio, pueden considerarse comercialmente aceptables para una variedad temprana como Santina. De todas maneras, al ser los rendimientos menores a los esperados para ésta variedad (15 Tn), de producirse un aumento en los niveles de carga en futuras temporadas, sería adecuado realizar algún manejo específico de regulación de carga para favorecer el tamaño final de los frutos (Whiting y Lang, 2004; Whiting y Ophardt, 2005; Podestá *et al.*, 2010).

4.3.3 Crecimiento de brotes

El crecimiento vegetativo comenzó en la segunda decena de octubre una vez finalizada la floración, en coincidencia con lo descrito por Espinosa (2006). Las tasas de crecimiento máximas fueron de 0,5 a 1,6 $\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$ y se registraron en el mes de noviembre en las tres temporadas (Figura 33), coincidiendo con lo observado en estudios previos (Podestá, 2007; Manríquez *et al.*, 2005).

En la temporada 2015-2016 se registraron tasas de crecimiento mayores que en las temporadas previas (Figura 33) lo que provocó una longitud final de brotes mayor (Figura 34).

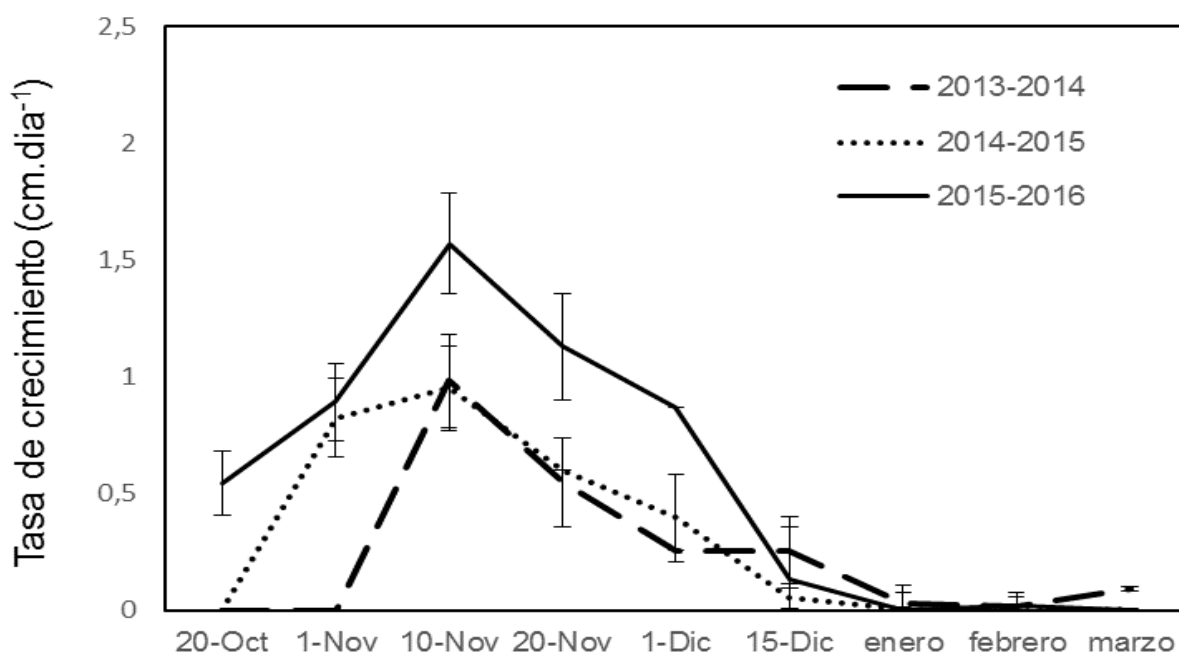


Figura 33. Tasa de crecimiento de brotes en las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016. Las barras corresponden al error standard.

Las longitudes finales de brote que fluctuaron entre 40 y 62 cm (Figura 33) son coincidentes con las registradas por Podestá (2007) para cerezos sin restricciones hídricas. En las dos primeras temporadas de estudio (2013-2014 y 2014-2015) la longitud de brotes fue menor que en el 2015-2016 (Figura 34). El período de crecimiento del fruto es coincidente con un período de rápido crecimiento vegetativo, por lo cual, en general la presencia de fruta en la planta favorece el control del vigor. La partición de carbohidratos hacia los frutos está principalmente provista por las hojas de dardos con y sin frutos y por los brotes vegetativos del año (Ayala, 2004), y se ha demostrado que prácticas como el raleo de dardos afectan el desarrollo vegetativo (Ayala y Andrade, 2009). Contrariamente, los rendimientos obtenidos en las tres temporadas consideradas, fueron menores a los esperados para la variedad (15 Tn) y el rendimiento observado en el año 2013 y 2014 fue menor al del 2015 (Tabla 16). Los excesos en el contenido de agua observados en las dos primeras temporadas (Figura 27 y Figura 28) podrían haber afectado la tasa de crecimiento de los brotes. Asimismo, las mejoras en la calidad del suelo y el drenaje realizadas en el establecimiento evidentemente favorecieron el desarrollo vegetativo y productivo del cultivo.

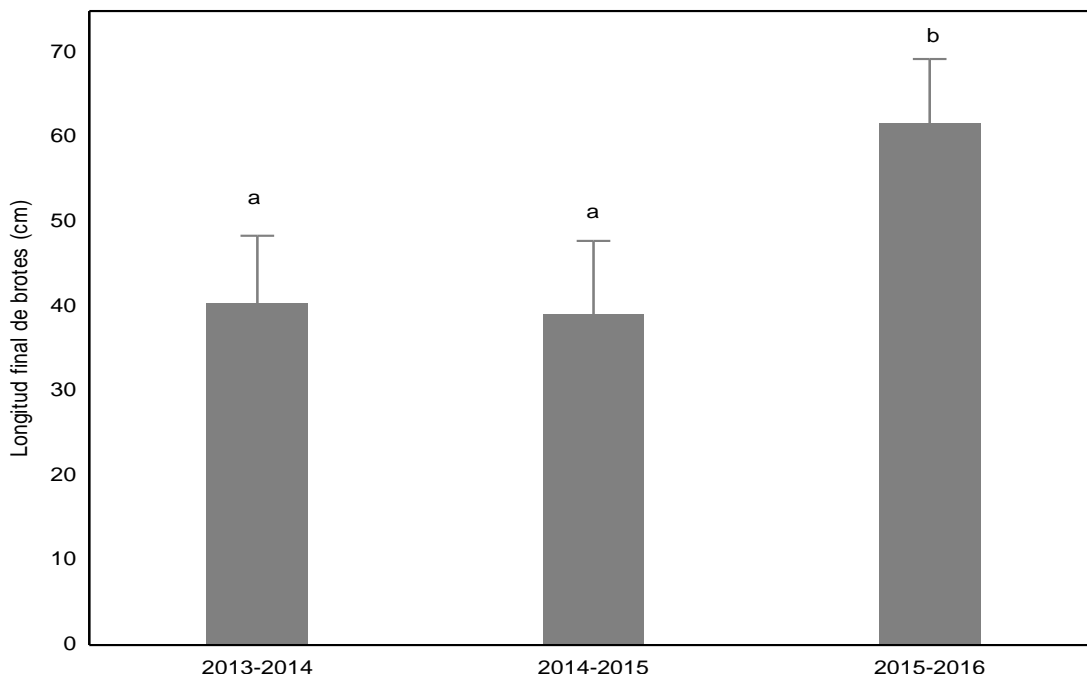


Figura 34. Longitud final media de brotes (cm) en La Deseada - Allen para las temporadas 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016. Letras distintas indican diferencias significativas al $p < 0,05$.

4.3.4 Estado nutricional y contenido de reservas

4.3.4.1 Estatus nutricional

El estado nutricional del monte frutal resulto adecuado respecto a los valores de referencia (Sánchez, 1999) de concentración de nutrientes en hojas para el cultivo de cereza (Tabla 17 y Figura 35).

Tabla 17. Análisis foliares de cerezos cv Santina/SL64 en La Deseada – Allen y valores de referencia de acuerdo a Sánchez (1999).

Especie	Localidad	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (ppm)	Zn (ppm)
Cerezos	Allen	2,4	0,36	2,2	3,3	0,71	66	43
Cerezos	Referencia	2,2 - 2,6	0,19 - 0,4	1,3 - 2,0	1,1 - 2,5	0,24 - 0,7	30 - 75	20 - 60

No se observaron síntomas foliares de clorosis o necrosis debidas a toxicidad por cloruros, nitratos o sales (Figura 35), que en general pueden aparecer en condiciones de suelos encharcados 3 (Reig *et al.*, 2018; Moreno y Fischer, 2014; Kozłowski, 1997; Kozłowski, 1982) y que se encontraban en el suelo en el 201.



Figura 35. Estado general del sitio de estudio, La Deseada – Allen. 2015.

4.3.4.2 Contenido de reservas

En frutales de hoja caduca, el contenido total de carbohidratos de los tallos y ramas alcanza un máximo en otoño en el momento de la caída de las hojas, comienza a disminuir a fines del invierno y disminuye rápidamente a principios de la primavera cuando los carbohidratos se agotan por la respiración acelerada y se utilizan en el crecimiento de nuevos tejidos. En este ensayo, los muestreos de corteza y raíz del presente trabajo, se realizaron en el momento de mayor acumulación de reservas (Kramer y Kozlowski, 1979).

El contenido de almidón en corteza fue similar al observado en raíz a pesar del rol que tiene las raíces como órgano de reserva (Loescher *et al.*, 1990). En la raíz se observaron valores significativamente inferiores tanto en el contenido de almidón como en el de carbohidratos no estructurales en el año 2016 respecto del 2015 (Figura 36 B y D). Una mayor solubilización de almidón en raíces fue correlacionada con un mayor crecimiento vegetativo en cerezos jóvenes (Loescher *et al.*, 1990), lo cual podría explicar el descenso en el contenido de almidón observado en el año 2016, que coincide con el mayor crecimiento vegetativo durante esa temporada (Figura 34).

El contenido de almidón tanto en raíz como en corteza, fue menor al percibido en ensayos previos tanto en montes en plena producción (Keller y Loescher, 1989) como en montes jóvenes (Podestá 2007), lo cual podría deberse al método de extracción de almidón (Figura 36 A y B).

El contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) en corteza de tronco y en raíz disminuyó entre las dos temporadas de estudio (Figura 36 C y D). Contrariamente a lo observado por Podestá (2007), el contenido de almidón tanto en raíz como en corteza fue menor que el de CNE. Pero, por otra parte, coincide con lo visualizado en brotes de manzanos, en dónde Sivaci (2006) determinó mayores niveles de CNE que de almidón durante toda la temporada de crecimiento (Sivaci, 2006).

Es sabido que el contenido de reservas en raíces tiene un rol fundamental en el desarrollo productivo y vegetativo de la temporada siguiente (Loescher *et al.*, 1990). En cerezos, al inicio de la primavera, la floración se lleva a cabo en ausencia de hojas, por lo que es dependiente de las reservas que el árbol haya acumulado en el ciclo vegetativo anterior (Flore y Layne, 1999). Por estas razones, resulta de gran interés la búsqueda de estrategias tendientes a garantizar una alta cantidad de reservas (hojas activas y que perduren el mayor tiempo posible antes de caer) y un elevado flujo de fotoasimilados para asegurar una buena cantidad de frutos comercialmente aceptables.

Las condiciones de anegamiento o exceso de agua durante el periodo de crecimiento activo de las raíces podrían afectar la removilización de nutrientes en primavera y la acumulación de reservas luego de la cosecha (Aliaga Ortega, 2019; Moreno y Fischer, 2014; Espinosa, 2006). En el sitio de estudio, las diferencias en los contenidos de almidón en raíces y de carbohidratos no estructurales en raíces y corteza se vieron afectadas. De acuerdo a lo descrito por Moreno y Fischer (2014) y Espinosa (2006) para frutales, en primavera se produce un importante crecimiento y desarrollo del sistema radicular. Las condiciones de saturación temporal del suelo observadas en el sitio de estudio, coinciden con ese periodo de crecimiento activo, por lo que independientemente del origen del exceso de agua que se produce en el suelo, podría suponerse algún impacto en la sustentabilidad de los montes de cerezos sometidos a esa condición.

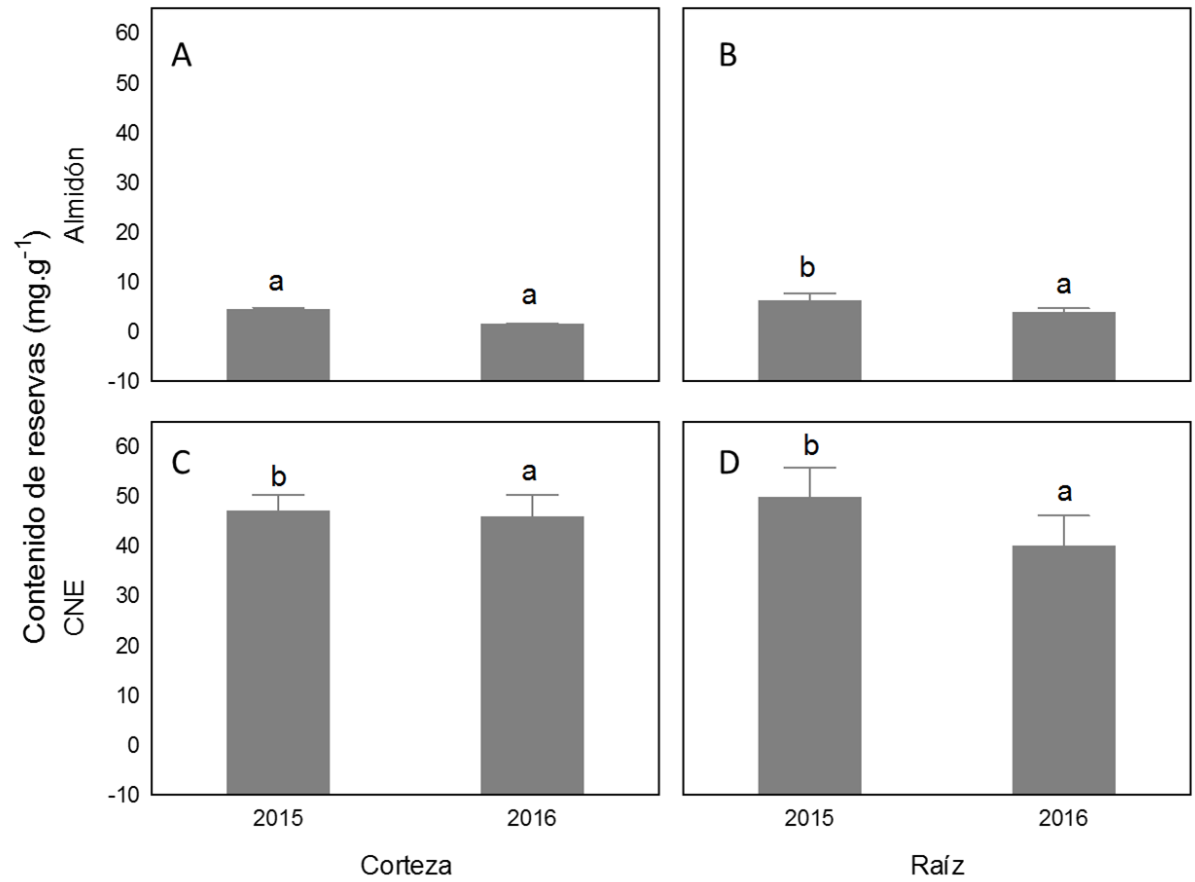


Figura 36. Contenido de almidón (A y B) y de carbohidratos no estructurales (C y D) en corteza de tronco y raíces de cerezos Santina/SL64.

5 Conclusiones

Mediante el monitoreo a escala de detalle de la red de freatómetros y modelado del comportamiento de la profundidad del nivel freático, se pudo constatar la recarga del acuífero freático en primavera, entre octubre y noviembre. También se pudo determinar que la recarga se ocasiona en gran medida por la infiltración de canales linderos al área de estudio. Las características texturales de los suelos de la región combinadas con el comportamiento y calidad de la napa freática, constituyen información clave para la zonificación delimitando sitios con aptitud diferenciada de acuerdo a cada cultivo y estableciendo el riesgo freático para cada caso.

Se pudo determinar en el sitio de estudio, que las variaciones estacionales del nivel freático producen niveles críticos en primavera lo cual puede incrementarse por las láminas aplicadas en la lucha contra heladas y un manejo inadecuado del programa o calendario de riego. El efecto se observó en el contenido de humedad del suelo, que fue igual o superior a la capacidad de campo en las tres temporadas de estudio con valores máximos en los meses de octubre y noviembre.

Se determinó que el aporte capilar de la freática fue de entre el 40 y el 60 % de la ETc del cultivo, afectando positivamente el balance hídrico del suelo. Por ello resulta fundamental su cuantificación y consideración para la programación del riego, siempre que se disponga de una napa freática con baja conductividad eléctrica. La fluctuación de la freática en primavera genera un aporte de agua capilar que no resulta en sí mismo un problema si su conductividad eléctrica no perjudica el desarrollo del cultivo.

En cuanto a la respuesta de las plantas a condiciones de saturación de suelo, con las mediciones realizadas, se detectó un efecto perjudicial en el desarrollo del cultivo. El mismo se evidenció por un menor crecimiento vegetativo de las plantas, determinado por una menor longitud final de brotes y también por valores menores de conductancia estomática en primavera, momento de mayor saturación del suelo, respecto al mes de enero. Así mismo, se observó una disminución de las reservas en la última temporada, sobre todo en la raíz.

Los objetivos de trabajo planteados, fueron alcanzados. De todas maneras, para poder entender de manera más certera la relación suelo-planta-atmosfera en las condiciones del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, se deberán continuar las diferentes mediciones y ensayos en próximos trabajos. Asimismo, resultaría relevante profundizar los estudios para establecer con más precisión la combinación de factores en los que la presencia de una freática superficial no genera estrés y si compensa parte de la demanda hídrica de los cultivos.

En un abordaje práctico, las condiciones de saturación del suelo ocasionadas por la fluctuación de la freática y por la defensa activa de heladas, podrían controlarse implementando mejoras en los drenajes parcelarios, monitoreando los niveles freáticos y ajustando las programaciones de riego.

A partir de los resultados y conclusiones de este trabajo sería interesante:

- Continuar con los registros freatométricos regionales y de área piloto (zonificación por suelos, aptitud para cultivos, conductividad eléctrica de la napa freática).

- Comparar el ascenso capilar para los distintos métodos de riego y mejorar la precisión de su cuantificación en términos de aporte de agua a la zona radicular utilizando otros modelos de estimación y ajustar una metodología para su incorporación al balance hídrico.
- Evaluar la capacidad de retención de agua y determinación de las constantes hídricas en suelos anisotrópicos ponderando la representatividad de los registros de los sensores de humedad.
- Medir la capacidad mínima de aire de los suelos a lo largo de la temporada para estudiar la duración e intensidad de los procesos de anoxia y su efecto sobre el crecimiento y desarrollo del cerezo.
- Continuar evaluando las respuestas de diferentes cultivos a largo plazo asociadas a la acumulación de reservas, el patrón de desarrollo radicular y la sustentabilidad de los montes frutales en las condiciones de freática estacional superficial.

6 Bibliografía

- ALIAGA ORTEGA, O. 2019. Manejos en cerezos para obtener fruta de calidad. [en línea]. Jornada Nacional de Cerezas. Neuquén, Argentina. http://www.adeneu.com.ar/Documentos/FrutaFina/Jornada2019/5_MANEJO_MONTE_CEREZAS_CALIDAD.pdf . [Consulta: noviembre 2019].
- ALLEN, R.; SANTOS PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma: FAO, 298 p.
- ALVAREZ, A.O.; GALEAZZI, J.O.; STANGAFERRO, S.; BARTUSCH, A.; POLLA, G. 1995. Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles del agua freática en el Alto Valle de Río Negro. Informe técnico, convenio FCA-DPA-ITAC. 93 p.
- APCARIAN, A.; SCHMID, P.M.; ARUANI, M.C. 2014. Suelos con acumulaciones calcáreas en el Alto Valle de Río Negro, Patagonia Norte. En: Imbellone, P.A., Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina. Buenos Aires: Ediciones INTA, p. 151-181.
- ARJONA, C. 2015. Capítulo 5: Floración, polinización y cuaje del cerezo. En: TACCHINI, F.M. [et.al.] 2015. Producción y comercialización de cereza en Mendoza – Argentina. Coordinado por Fabio Marcos Tacchini, 1ª Edición. Mendoza: Fundación IDR.
- ARUANI, M.C. 2009. Raíces: Condiciones del suelo que afectan su crecimiento. [en línea] <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxib2xldGluZmNhW5jb3xneDoxMzE4MTgwNGU5ZGFiNTZl> [Consulta: diciembre 2019].
- ASHRAF, M.A. 2012. Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 7(13), p. 1976-1981.
- ASHRAF, M.; ARFAN, M. 2005. Gas exchange characteristics and water relations in two cultivars of *Hibiscus esculentus* under waterlogging. *Biologia Plantarum*, 49(3), 459-462.
- AYALA, M.; ANDRADE, M.P. 2009. Effects of fruiting spur thinning on fruit quality and vegetative growth of sweet cherry (*Prunus avium*). *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 36(3), 443-450.
- AYALA, M. 2004. *Carbon partitioning in sweet cherry (Prunus avium L.) on dwarfing precocious rootstocks during fruit development*. Michigan State University.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1986. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 29. Rome, Italy.
- BECKMAN, T. G.; PERRY, R. L.; FLORE, J. A. 1992. Short-term flooding affects gas exchange characteristics of containerized sour cherry trees. *HortScience*, 27(12), 1297-1301.
- BESTVATER, C.R.; CASAMIQUELA, C.H. 1983. Distribución textural de los suelos del Alto Valle del río Negro. INTA, Boletín de divulgación técnica N° 29.

- BUJDOSÓ, G.; HROTKÓ, K.; FELDMANE, D.; GIOVANNINI, D.; DEMIRSOY, H.; TAO, R.; ERCISLI, S.; ERTEK, N.; MALCHEV, S. 2020. *What kind of sweet cherries do the final consumers prefer?* South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment. Vol.11, No.1. pp.37-48.
- CAMINITI, A. 2019. CAPCI (Cámara Argentina de Productores de Cereza Integrados). Organización y Acciones. [en línea]. Jornada Nacional de Cerezas. Neuquén, Argentina. http://www.adeneu.com.ar/Documentos/FrutaFina/Jornada2019/1_Acciones_Sectoriales-CAPCI.pdf [Consulta: noviembre 2019].
- CAMINITI, A. 2014. Documento sectorial. Sector productor y exportador de cerezas de la Norpatagonia. Centro PyME-ADENEU.
- CAMPBELL, G. 2008. Modeling available soil moisture. *Support Applications*, 1-4. [en línea]. http://publications.decagon.com/Application%20Notes/13401_Modeling%20Available%20Soil%20Moisture_Print.pdf. [Consulta: octubre 2019].
- CANDAN, A.P.; RAFFO, D.; GOMILA, T.; COLODNER, A. 2017. Pautas para el mantenimiento de la calidad de cerezas frescas. [en línea] https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_pautas-para-el-mantenimiento-de-cerezas.pdf [Consulta: octubre 2019].
- CHAMBULEYRON, J. 2005. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Mendoza: EDIUNC. 1040 p.
- CHAMBULEYRON, J.; MORABITO, J.A. 2005. El riego en Argentina. Documento INA-CRA. [en línea]. Mendoza, Argentina. 19 p. [https://www.ina.gov.ar/legacy/pdf/INA-Cra-El_riego_en_Argentina.pdf]. [Consulta: octubre 2019].
- CIL-AyEE (Consorcio Iconas Latinconsul - Agua y Energía Eléctrica) 1991a. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Etapa II. Informe edafológico, Río Negro, 240 p.
- CIL-AyEE (Consorcio Iconas Latinconsul - Agua y Energía Eléctrica) 1991b. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Etapa II. Nivel prefactibilidad. Río Negro, 200 p.
- CIL-AyEE (Consorcio Iconas Latinconsul - Agua y Energía Eléctrica) 1990. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Etapa II. Drenaje, Informe fase I. Río Negro, 138 p.
- CIL-AyEE (Consorcio Iconas Latinconsul - Agua y Energía Eléctrica) 1988. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Informe técnico. Río Negro.
- CUADOR-GIL, J.Q. 2005. Estudios de estimación y simulación geoestadística para la caracterización de parámetros geólogo-industriales en el yacimiento laterítico Punta Gorda. *Minería & Geología*, 21(4), 48 p.
- DI RIENZO J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI M.G.; GONZALEZ L.; TABLADA M., ROBLEDO C.W. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. T.; SMITH, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- ESPINOSA, P. 2006. Evaluación del crecimiento de raíces, brotes y frutos en cerezos (*Prunus avium L.*). *Revista Frutícola*, 27(1), p. 27-31.
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 2015 a. Documento principal. Estudio del potencial de ampliación del riego en argentina. Proyecto FAO UTF ARG 017. Desarrollo institucional para la inversión. [en línea]. 136 p. [<http://www.fao.org/3/a-i5183s.pdf>]. [Consulta: octubre 2019].
- Food and Agricultural Organization (FAO). 2015 b. Documento de trabajo N° 12. Aspectos ambientales de la Provincia de Rio Negro. Proyecto FAO UTF ARG 017. Desarrollo institucional para la inversión. [en línea]. 93 p. [http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/rionegro/DT_12_Aspectos_ambientales.pdf]. [Consulta: octubre 2019].
- Food and Agricultural Organization (FAO). 1979. Elementos para el proyecto de drenajes. Consulta de expertos sobre elementos relativos al proyecto de drenajes. Estudio FAO de Riego y Drenaje N° 38. Roma, Italia. 22-29 de octubre de 1979.
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons, Inc.
- FERNANDEZ MUÑOZ, S. 2003. El bajo Neuquén. La transformación de un espacio natural en un territorio agrícola en la Patagonia Argentina. Tesis Doctoral Universidad Autónoma de Madrid - Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas. 305 p.
- FERREYRA, R.; SELLES, G.; AHUMADA, R.; MALDONADO, P.; GIL, P.; BARRERA, C. 2005. Manejo del riego localizado y fertirrigación. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 126. 56 p.
- FLORE, J.A.; LAYNE, D.R. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34 (6):1015-1019.
- FLORE, J. A.; MOON, J. W.; LAKSO, A. N. 1984. The effect of water stress and vapor pressure gradient on stomatal conductance, water use efficiency, and photosynthesis of fruit crops. In *International Symposium on Water Relations in Fruit Crops 171* (pp. 207-218).
- GALEAZZI, J.O.; ARUANI, M.C. 2019. Manejo del riego en pera (*pyrus communis*) cv. Williams cultivada en suelo con capa freática poco profunda. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 151-162.
- GALEAZZI, J.; MAÑUECO, M.L.; MONTENEGRO, A.; STORTI, C.; SHERIDAN, M. 2018. Gestión Consorciada del Agua de Riego en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Trabajo

completo presentado en: I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar. Plottier, Neuquén, 27 y 28 de noviembre de 2018. 309-316.

GALEAZZI, J.; PESAN, P.; MUÑIZ, J.; SIGNORELLI, V.; QUIROGA, J. 2007 Reconocimiento de la dinámica freática mediante el monitoreo de un área piloto del Alto Valle de Río Negro. En: XXI Congreso Nacional del Agua (CONAGUA 2007) Tucumán, Argentina.

GALEAZZI, J.; MUÑIZ, J.; PESAN, P. 2005. Programa de monitoreo del sistema de riego y drenaje del área Puente la S. Informe Técnico.

GALLARDO, A. 2006. Geoestadística. Ecosistemas. [en línea] <https://fjerrer.webs.ull.es/Bibliog/Biblio/Geoestadistica.pdf> [Consulta: noviembre 2018].

GIL, P. M.; SCHAFFER, B.; GUTIÉRREZ, S. M.; LI, C. 2007. Effect of waterlogging on plant water status, leaf gas exchange and biomass of avocado. In *Proc. VIth World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile* (pp. 12-16).

GIRONA, J. y BELLVERT, J. 2017. Determinación del estado hídrico de las plantas en base a teledetección: un elemento de gestión del riego a nivel de parcela y en comunidades de regantes. En: Curso Internacional de Fruticultura de Precisión. General Roca, Argentina. 9, 10 y 11 de mayo de 2017.

GÓMEZ RIERA P.; BRUZONE I.; KIRCHBAUM D. 2014. Visión prospectiva de la cadena de frutas finas al 2030. Serie documentos de trabajo N° 23. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

GOOVAERTS, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press on Demand. 382 p.

GRASSI, C.J. 1998. Fundamentos del riego (No. 631.587 G769f). Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Mérida, Venezuela.

GRATACÓS, E.; CORTÉS, A.; KULCZEWSKI, M. 2005. Flowering, production and fruit quality of eleven sweet cherry cultivars in central Chile. In *V International Cherry Symposium 795* (pp. 331-338).

HORNE, F.J.; ALVAREZ, O.; GALEAZZI, J.O.; POLLA, G.; STANGAFERRO, S. 1992. Análisis y elaboración de datos freáticos e hidroquímicos del Alto Valle de Río Negro. Informe técnico, convenio FCA-AyEE-ITAC; 47 p.

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL DE MENDOZA (IDR). 2018. Perspectivas de la temporada agrícola 2018/2019 cereza y damasco [en línea]. <https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2019/01/Cereza-y-Damasco-2018.pdf> [Consulta: marzo 2018].

INSAUSTI, P.; GORJÓN, S. 2013. Floods affect physiological and growth variables of peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch), as well as the postharvest behavior of fruits. *Scientia horticulturae*, 152 (2013), 56-60.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, M.R. 1989. *Applied geostatistics* (No. 551.72 ISA).

- JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. 1978. Mining geostatistics. Academic press.
- KAPPEL, F.; FISHER-FLEMING, B.; HOGUE, E. 1996. Fruit characteristics and sensory attributes of and ideal sweet cherry. *HortScience* 31(3):443-446.
- KAPPEL, F.; LANE, W.D. 1998. Recent sweet cherry introductions from the breeding program at Summerland, British Columbia, Canada. *Acta Horticulturae*, 1, 105-110.
- KELLER, J. D.; LOESCHER, W. H. 1989. Nonstructural carbohydrate partitioning in perennial parts of sweet cherry. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
- KOZLOWSKI, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree physiology monograph*, 1(1), 1-29.
- KOZLOWSKI, T.T. 1984. Plant responses to flooding of soil. *BioScience*, 34(3), p. 162-167.
- KOZLOWSKI, T.T. 1982. Water supply and tree growth. Part II. Flooding. United Kingdom: N. p.
- KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T.T. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press. *New York*, 811.
- LI, X.; CHANG, S.X.; SALIFU, K.F. 2014. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review. *Environmental reviews*, 22(1), 41-50.
- LIU, Y.; PEREIRA, L.S.; FERNANDO, R.M. 2006. Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agricultural Water Management*, 84(1-2), 27-40.
- LOESCHER, W.H.; MCCAMANT, T.; KELLER, J.D. 1990. Carbohydrate reserves, translocation, and storage in woody plant roots. *HortScience*, 25(3), 274-281.
- MANRÍQUEZ, D.; DEFILIPPI, B.; RETAMALES, J. 2005. Prohexadione-calcium, a gibberellin biosynthesis inhibitor, can reduce vegetative growth in 'Bing' sweet cherry trees. In *IV International Cherry Symposium* 667 (pp. 447-452).
- MAÑUECO, M.L.; RODRÍGUEZ, A.; MONTENEGRO, A.; GALEAZZI, J.; DEL BRIO, D.; CURETTI, M.; MUÑOZ, A.; RAFFO, M.D. 2018. *Quantification of capillary water input to the root zone from shallow water table and determination of the associated Bartlett pear water status*. En: XIII International Pear Symposium. Montevideo, Uruguay, 4 – 7 diciembre 2018.
- MAÑUECO, M.; MUÑOZ, M.; MUÑOZ, A.; RAFFO, M.; RODRÍGUEZ, A. 2015a. Evaluación de la conductancia estomática como indicador de estrés por factores abióticos en frutales de hoja caduca”. 38° Congreso Argentino de Horticultura, Bahía Blanca.
- MAÑUECO, M.L.; RAFFO BENEGAS, M.D.; MENNI M.F.; MUÑOZ, M.; NORDENSTROM, G. 2015. Monitoreo de niveles freáticos y respuesta ecofisiológica de cerezos cv. Santina en el alto valle de Rio Negro y Neuquén. Trabajo Completo Presentado en VII Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, 5, 6 y 7 de agosto de 2015a.

- MAÑUECO, M.L.; CURETTI, M.; FERNANDEZ CARRO, L.; MENNI, M.F.; MUÑOZ, M.; RAFFO BENEGAS, M.D. 2014. Respuesta ecofisiológica de plantas de cereza cv. Santina a condiciones de niveles freáticos críticos en el Alto Valle de Río Negro. Presentado al XXXVII Congreso Argentino de Horticultura, Mendoza, 2014.
- MARIZZA, M.; GALEAZZI, J.; VIVES, L.; NITMAN, J. 2009. Modelación del flujo subterráneo en un área piloto del alto valle de Río Negro (Argentina). (E. y. Mariño, Ed.) *Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos Hídricos, Tomo II*, p. 497-504.
- MARSAL, J.; LOPEZ, G.; DEL CAMPO, J.; MATA, M.; ARBONES, A.; GIRONA, J. 2010. Postharvest regulated deficit irrigation in ‘Summit’ sweet cherry: fruit yield and quality in the following season. *Irrigation science*, 28(2), 181.
- MENDIA, J.M.; IRISARRI, J. 1995. Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el manejo del monte frutal. En: Curso internacional de Suelo, Riego y Nutrición. Estación Experimental. General Roca, Río Negro, Argentina, p. 4-1 a 4-40.
- MONTENEGRO, A. 2014. Análisis de la incidencia de factores que intervienen en la sustentabilidad del agro sistema frutícola en “Colonia la Lucinda (Río Negro)”. Tesis de grado para la Licenciatura de Saneamiento y protección ambiental, Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud, Universidad Nacional del Comahue. 120 p.
- MONTENEGRO, A.; GALEAZZI, J.; MUÑOZ, A. 2017. La evapotranspiración de referencia y la programación del riego en el Alto Valle (RN).
- MORANDI, B.; MANFRINI, L.; LUGLI, S.; TUGNOLI, A.; BOINI, A.; PERULLI, G.D.; GRAPPADELLI, L.C. 2019. Sweet cherry water relations and fruit production efficiency are affected by rootstock vigor. *Journal of plant physiology*, 237, 43-50.
- MORENO, M.A.; MONTAÑES, L.; TABUENCA, M.C. CAMBRA, R. 1996. The performance of Adara as a cherry rootstock. *Scientia Horticulturae*, 65, 85-91.
- MORENO SÁNCHEZ, M.Á.; GOGORCENA AOIZ, Y.; PINOCHET, J. 2008. Mejora y selección de patrones prunus tolerantes a estreses abióticos.
- MORENO, A.; FISCHER, G. 2014. Efectos del anegamiento en los frutales. Una revisión. *Temas Agrarios*, 19(1).
- NAOR, A. 2004. The interactions of soil and stem water potentials with crop level, fruit size and stomatal conductance of field-grown ‘Black Amber’ Japanese plum. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(2), 273-280.
- NICOLÁS, E.; TORRECILLAS, A.; DELL’AMICO, J.; ALARCÓN, J. J. 2005. The effect of short-term flooding on the sap flow, gas exchange and hydraulic conductivity of young apricot trees. *Trees*, 19(1), 51-57.
- NOLTING, J.T. 1976. Estudio sobre la distribución radical del manzano y peral en el Alto Valle de Río Negro. INTA Estación Experimental Regional Agropecuaria del Alto Valle de Río Negro, investigación agropecuaria N° 2.

- OLIEN, W.C. 1989. Seasonal soil waterlogging influences water relations and leaf nutrient content of bearing apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*, 114(4):537-542.
- ORTIZ MALDONADO, G.; CARMONA, V. 2008. Comportamiento y clasificación de riesgo freático Lavalle, Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 40(2), 25-40.
- PALLARDY, S. G. 2008. Physiology of woody plants. Third Edition. Academic Press. 469 p.
- PARAMÁ, R. 2006. Heterogeneidad Espacial de Nutrientes del Suelo en Ecosistemas Terrestres. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.
- PAVESE, J.; CHANDIA, G.; POLLA, G.; HORNE, F.; STANGAFERRO, S. 2013. Simulación numérica del acuífero del Alto Valle del Rio Negro. XXIV Congreso Nacional del Agua. San Juan.
- PEREIRA, L. S.; DE JUAN, J. A.; PICORNELL, M. R.; TARJUELO, J. M. 2010. El riego y sus tecnologías. *Albacete: CREA-UCLM*, 296.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, M.; HERNÁNDEZ-MUNUERA, M.; PIÑERO, M.C.; LÓPEZ-ORTEGA, G.; DEL AMOR, F. M. 2017. CO₂ effects on the waterlogging response of ‘Gisela 5’ and ‘Gisela 6’ (*Prunus cerasus* x *Prunus canescens*) sweet cherry (*Prunus avium*) rootstocks. *Journal of plant physiology*, 213 (2017), 178-187.
- PIZARRO, C. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 3ª Edición. Ediciones Mundi Prensa.
- PODESTA, L. 2015. Capítulo 8: Riego en cerezos. En: TACCHINI, F.M. [et.al.] 2015. Producción y comercialización de cereza en Mendoza – Argentina. Coordinado por Fabio Marcos Tacchini, 1ª Edición. Mendoza: Fundación IDR.
- PODESTÁ, L.; SÁNCHEZ, E.; VALLONE, R.; MORÁBITO, J.A. 2010. Efecto del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 73-91.
- PODESTÁ, L. 2007. Influencia de restricciones hídricas poscosecha en el crecimiento vegetativo y reproductivo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium* L.). Tesis de Maestría en Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. 99 p.
- RAES, D.; DE NYS, E.; DEPROOST, P. 2002. UPFLOW, a model to assess water and salt movement from a shallow water table to the topsoil. *Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation*.
- RAFFO, D.; COLODNER, A.; CANDAN, A.P.; VILLARREAL, P. 2019. Producción de cerezas de calidad en la Patagonia Norte Argentina. *Revista de fruticultura*, (70), 40-53.
- RAFFO, D.; RODRIGUEZ, A. 2013. Informe técnico sobre la situación productiva en cerezos, temporada 2013. [en línea] https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_boletin_agrometeorologico_n22_2013-2014.pdf [Consulta: agosto 2017].

- RAFFO BENEGAS, M.D.; CANDAN, A.P.; CALVO, P.; MAÑUECO, L. 2009. Cerezas, descripción de nuevas variedades. Folleto de divulgación, INTA EEA Alto Valle, Centro regional Patagonia Norte, 16 p.
- RAFFO, D.; VILLARREAL, P; BALLIVIAN, T.; BARRIA, J. 2006. Cerezas en la Norpatagonia. Revista FyD N° 50. P 16 – 20.
- REIG, G.; FONT i FORCADA, C.; MESTRE, L.; BETRÁN, J.A.; MORENO, M. Á. 2018. Potential of new *Prunus cerasifera* based rootstocks for adapting under heavy and calcareous soil conditions. *Scientia horticulturae*, 234 (2018), 193-200.
- REQUENA, A.; MAÑUECO, L.; CASTILLO, E. 2012. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo del manzano en su tercera temporada de crecimiento. Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. 6. 2012 11 07-09, 7, 8 y 9 de noviembre de 2012. Chacras de Coria, Mendoza, Argentina.
- ROSSI, P. 2013. Agua subterránea en el Alto Valle de la Provincia de Río Negro. Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro. 37 p [en línea]. <https://dpa.rionegro.gov.ar/?contID=30234> [Consulta: agosto 2017].
- ROWE, R.N.; BEARDSELL, D.V. 1973. Waterlogging of fruit trees. In *Horticultural Abstract*, 43(9), 533-548.
- SÁNCHEZ E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed). Estación Experimental Alto Valle de Río Negro. Microrregión Patagonia Norte, Argentina. 198 pp.
- SAN MARTINO, L.; MANAVELLA, F.A.; GARCÍA, D. A.; SALATO, G. 2005. Phenology and fruit quality of nine sweet cherry cultivars in South Patagonia. In *V International Cherry Symposium 795* (pp. 841-848).
- SCHAFFER, B.; DAVIES, F.S.; CRANE, J.H. 2006. Responses of subtropical and tropical fruit trees to flooding in calcareous soil. *HortScience*, 41(3), 549-555.
- SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. 1994. Handbook of environmental physiology of fruit crops. Vol. II: Sub-tropical and tropical crops.
- SCHAFFER, B; ANDERSEN, P.C.; PLOETZ, R.C. 1992. Responses of fruit crops to flooding. *Horticultural reviews*, 13, 257-313.
- SCHOLANDER, P.F.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E. A.; HAMMEL, H. T. 1965. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148(3668), 339-346.
- SECRETARIA DE AGROINDUSTRIA. 2019. Cadena de Cerezas. [en línea]. http://www.alimentosargentinos.gov.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_CEREZAS_MARZO_2019.pdf. [Consulta: abril 2019].

- SEPASKHAH, A.R.; KANOONI, A.; GHASEMI, M.M. 2003. Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. *Agricultural Water Management*, 58(1), 67-79.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASA). 2020. Anuario Estadístico 2019 - Centro Regional Patagonia Norte. [en línea]. Argentina. 154 p. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_estadistico2017c.pdf]. [Consulta: marzo 2019].
- SHACKEL, K.A.; AHMADI, H.; BIASI, W.; BUCHNER, R.; GOLDHAMER, D.; GURUSINGHE, S.; ... and MCGOURTY, G. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology*, 7(1), 23-29.
- SHERIDAN, M. 2015. Evaluación ambiental de riego y drenaje en una localidad del Alto Valle de Rio Negro. Tesis de la Maestría en Intervención Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Neuquen Capital. 179 p.
- SIVACI, A. 2006. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings. *Scientia Horticulturae*, 109(3), 234-237.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. Soil Survey Manual. Handbook N° 18. USDA. Washington D.C., U.S.A. 437 pp.
- SOPPE, R. W.O.; AYARS, J.E.; CHRISTEN, E.W.; SHOUSE, P.J. 2003. Irrigation management to optimize controlled drainage in a semi-arid area. [en línea] <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/43423>. [Consulta: octubre 2019].
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. *Estudio FAO: Riego y Drenaje (FAO) spa no. 66*.
- SVAMPA, F. 2016. Transformaciones territoriales en el Alto Valle de Rio Negro, el declive de la matriz frutihortícola en el municipio de Allen. [en línea]. En: IX Jornadas de Sociología de la UNLP. [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.9053/ev.9053.pdf]. [Consulta: octubre 2019].
- VAN DER MOLEN, W.H. 2007. Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems (Vol. 62). Food & Agriculture Org.
- VILLARREAL, P.; MONGABURE, A.; BORGES, C.A.; GÓMEZ SEGADE, C. 2018. Evaluación del impacto económico del Programa Nacional de Control y Erradicación de Mosca de los Frutos Procem Patagonia. FUNBAPA.
- VILLARREAL, P.; SANTAGNI, A.; ROMAGNOLI, S. 2006. Pautas tecnológicas: cerezo. Manejo y análisis económico financiero. EEA Alto Valle y CRPN.
- VITA SERMAN, F.; SCHUGURENSKY, C.; CARRIÓN, R.; RODRÍGUEZ, S. 2006. Evaluación del comportamiento de sensores de humedad de suelo del tipo (FDR) de desarrollo local, en relación al contenido de agua y a la textura de suelo. En: Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. [en línea] <https://www.ina.gov.ar/legacy/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-30-Vita.pdf>. [Consulta: noviembre 2019].

VITTRUP CHRISTENSEN, J. 1995. Evaluation of fruit characteristics of 20 sweet cherry cultivars. *Fruit Varieties Journal* 49(2):113-117.

WHITING, M.D.; LANG, G.A. 2004. Bing's sweet cherry on the dwarfing rootstock Gisela 5: thinning affects fruit quality and vegetative growth but not net CO₂ exchange. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(3), 407-415.

WHITING, M.D. y OPHARDT D. 2005. Comparing novel sweet cherries crop load management strategies. *HortScience* 40: 1271-1275.

YOON, T. M.; RICHTER, H. 1990. Seasonal changes in stomatal responses of sweet cherry and plum to water status in detached leaves. *Physiologia Plantarum*, 80(4), 520-526.

ZAPPI, C.A. 2012. Una evaluación de las posibilidades de expansión del riego en la argentina. [en línea]. <https://www.ina.gob.ar/cra/riego/fertirriego/pdf/Zappi.pdf>. [Consulta: octubre 2019].

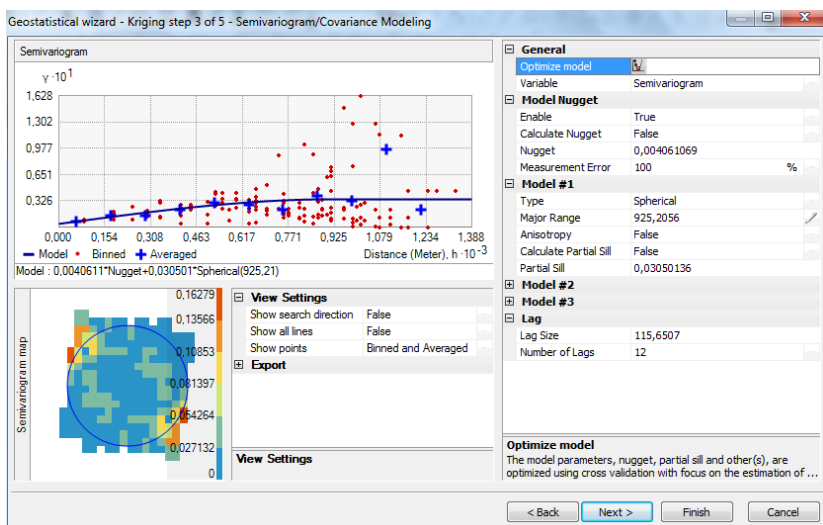
ZIEGLER, V.H.; PLOCHUK, E.; WEIBEL, A.; INSAUSTI, P. 2017. Short-term responses to flooding stress of three *Prunus* rootstocks. *Scientia horticultrae*, 224 (2017), 135-141.

7 Anexos

7.1 Anexo I: tabla fechas seleccionadas para mapeo

	Coordenadas		4/10/2012	15/1/2013	30/8/2013	1/5/2014	25/8/2014	26/9/2014	15/1/2015	15/4/2015	31/8/2015	27/10/2015	20/1/2016	28/3/2016	10/8/2016	7/10/2016
	x	y	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF	Prof. NF
1	2608950,31	5680125,48	1,19	1,23	1,5	1,54	1,5	0,98	1,45	1,41	1,5	1,2	1,22	1,61	1,5	1,25
2	2608928,1	5679944,51	0,94	1,25	1,35	1,49	1,35	1,35	1,27	1,2	1,55	1,15	1,17	1,57	1,55	1,15
3	2608888,66	5679868,14	1	1,21	1,67	1,64	1,67	1,03	1,67	1,27	1,67	1,17	1,21	1,62	1,67	1,15
4	2608870,9	5679755,27	0,78	0,99	1,44	1,4	1,44	0,78	sd	1,06	1,44	0,95	0,99	1,4	1,44	1,1
5	2608842,54	5679594,78	0,89	1,1	1,53	1,47	1,53	0,8	1,2	1,09	1,53	0,99	1,08	1,47	1,53	0,97
6	2608824,53	5679490,74	0,9	1,16	1,58	1,4	1,58	0,88	1,33	0,95	1,58	0,91	1,03	1,36	1,58	0,88
7	2608806,52	5679388,7	0,98	1,26	1,61	1,57	1,61	1,61	1,28	1,1	1,61	1,03	1,19	1,48	1,61	1
8	2608771,51	5679189,62	1,06	1,3	1,7	1,73	1,7	1,7	1,41	1,28	1,7	0,98	sd	1,42	1,7	ds
9	2609010,6	5679242,64	1,04	1,23	1,57	1,57	1,57	0,84	1,15	0,83	1,57	0,62	0,84	1,02	1,57	1,57
10	2609050,62	5679447,72	1,07	1,27	1,66	1,4	1,66	0,88	1,66	1,2	1,66	1,07	1,17	1,51	1,66	1,06
12	2609082,63	5679647,8	0,86	1,13	1,48	1,35	1,48	0,75	1,14	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
13	2609097,64	5679844,88	1,11	1,35	1,68	1,46	1,68	0,96	1,28	1,27	1,68	1,21	1,16	1,54	1,68	1,11
14	2609123,65	5680007,95	1,28	1,4	1,64	1,49	1,64	1,01	1,3	1,34	1,64	1,17	1,25	1,55	1,64	1,22
15	2609326,73	5680061,97	1,22	1,29	1,65	1,2	1,65	0,96	1,35	1,28	1,51	1,27	1,2	1,38	1,51	0,97
16	2609315,73	5679908,91	1,11	1,25	1,49	1,3	1,49	0,9	1,37	1,22	1,49	1,03	1,05	1,39	1,49	1,03
17	2609273,71	5679660,81	1,05	1,25	1,62	1,42	1,62	0,97	1,22	1,15	1,62	1,08	1,11	1,51	1,62	1,09
18	2609212,01	5679214,02	1,03	1,38	1,73	1,36	1,73	0,95	1,43	1,21	1,73	1,06	1,02	1,48	1,73	1,24
19	2609422,08	5679780,71	1,31	1,29	1,47	1,46	1,47	1,04	1,47	1,26	1,47	1,07	1,25	1,44	1,47	1,11
20	2609603,25	5679086,23	1,49	1,23	1,72	1,56	1,72	1,72	1,53	1,5	1,72	1,29	1,4		1,72	1,38
21	2609628,65	5679331,54	0,99	1,12	1,47	1,26	1,47	1,47	1,27	1,18	1,47	0,94	1,06	1,29	1,47	0,99
22	2609651,43	5679642,59	1,05	1,23	1,65	1,42	1,65	1,65	1,26	sd	1,65	0,8	sd		1,65	1,03
23	2609691,28	5679895,68	1,08	1,32	1,68	1,24	1,68	1,68	1,17	1,17	1,68	1,02	sd	1,35	1,68	sd

7.2 Anexo II: salidas de ARC GIS y obtención de mapas



General

Optimize model

Variable Semivariogram

Model Nugget

Enable True

Calculate Nugget False

Nugget 0,004061069

Measurement Error 100 %

Model #1

Type Spherical

Major Range 925,2056

Anisotropy False

Calculate Partial Sill False

Partial Sill 0,03050136

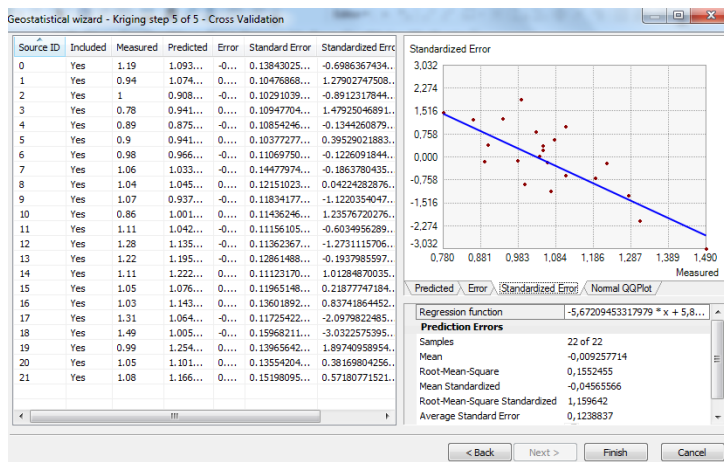
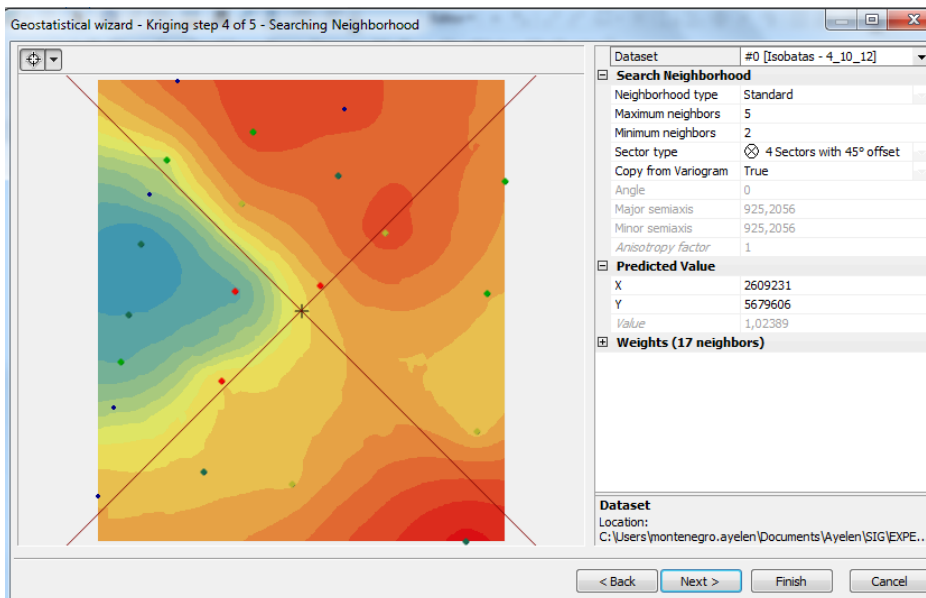
Model #2

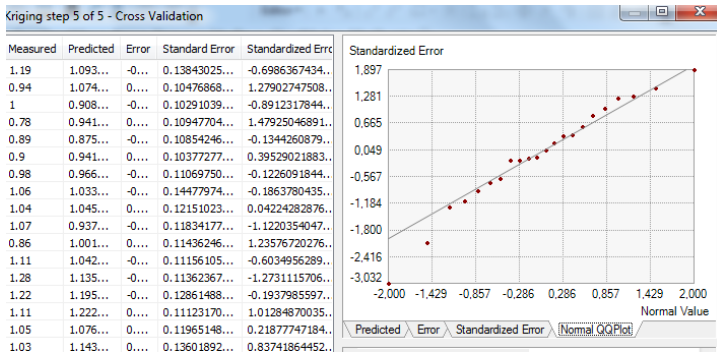
Model #3

Lag

Lag Size 115,6507

Number of Lags 12





Geostatistical Wizard: Kriging / CoKriging

Methods

- Deterministic methods**
 - Inverse Distance Weighting
 - Global Polynomial Interpolation
 - Radial Basis Functions
 - Local Polynomial Interpolation
- Geostatistical methods**
 - Kriging / CoKriging**
 - Areal Interpolation
 - Empirical Bayesian Kriging
- Interpolation with barriers**
 - Kernel Smoothing
 - Diffusion Kernel

Input Data

- Dataset**
 - Source Dataset: Isobatas
 - Data Field: 4_10_12
- Dataset 2**
 - Source Dataset: <none>
- Dataset 3**
 - Source Dataset: <none>
- Dataset 4**
 - Source Dataset: <none>

Kriging / CoKriging

Kriging is an interpolator that can be exact or smoothed depending on the measurement error model. It is very flexible and allows you to investigate graphs of spatial auto- and cross-correlation. Kriging uses statistical models that allow a variety of output surfaces including predictions, prediction standard errors, probability and quantile. The flexibility of kriging can require a lot of decision-making. Kriging assumes the data come from a stationary stochastic process, and some methods assume

[About Kriging / CoKriging](#)

Geostatistical wizard - Kriging step 2 of 5

Kriging Type

- Ordinary
- Simple
- Universal
- Indicator
- Probability
- Disjunctive

Output Surface Type

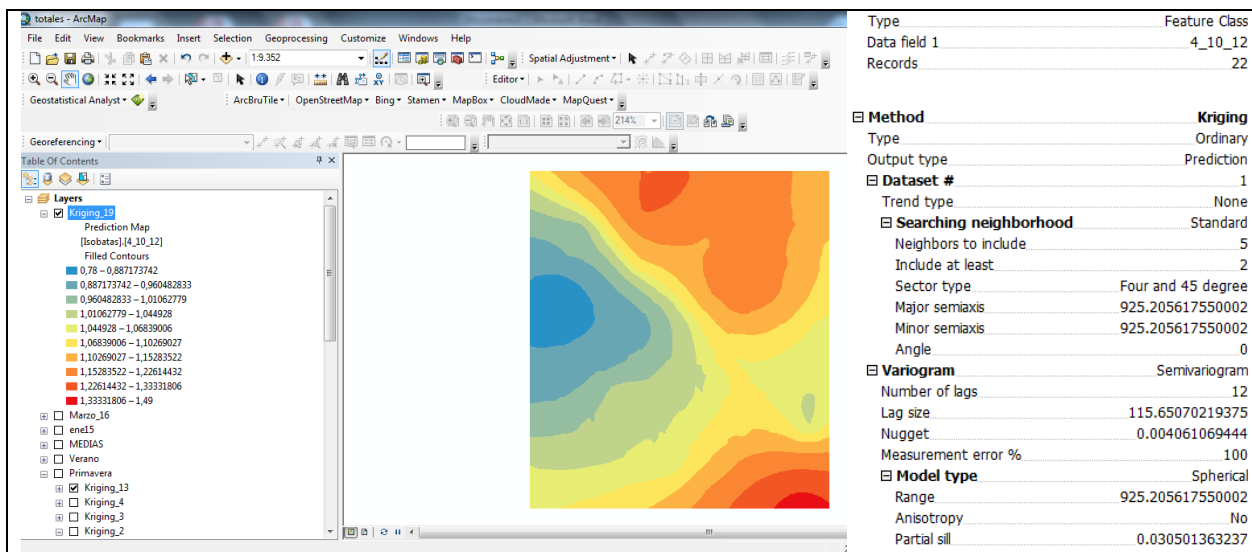
- Prediction
- Quantile
- Probability
- Prediction Standard Error

Dataset #1

- Transformation type: None
- Order of trend removal: None

Transformation type [<more>](#)

Using transformations makes variances more constant throughout your study area and the data closer to being normally distributed.



Resultado final del proceso y resumen de la modelación espacial

7.3 Anexo III: análisis de suelo

Ubicación: **Guerrico**

DATOS ANALÍTICOS

Muestra N°		15160	15161	15162	
Profundidad (cm)		0-30	30-60	60-90	
Textura		Franco – Franco limoso	Franco arenoso	Franco arcillo limoso	
pH (pasta)		8.2	8.39	8.1	
Conductividad (dS/m)		14.5	13.7	12.9	
Materia orgánica (%) (Mét. Walkley y Black)		1.1	0.33	0.3	
Carbono orgánico (%) (% MO/1,72)		0.65	0.2	0.2	
Fósforo extractable (ppm) (Mét. Olsen)		34.9	8.0	7.9	
Bases de Intercambio (mg kg ⁻¹)	Na ⁺	3701	3751	4199	
	K ⁺	2075	1267	487	
CIC (meq/100g)		27.8	28.9	33.8	
PSI		57.9	56.4	54.1	
Sales solubles (meq/l) (ext. saturación)	Cationes	Na ⁺	170.8	107.2	112.6
		K ⁺	7.7	2.0	0.4
		Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	24.4	8.1	18.0
	Aniones	HCO ₃ ⁻	5.2	4.4	2.8
		- Cl ⁻	31.4	43.0	45.8
		SO ₄ ⁼	108.0	90.7	80.3
RAS		48.8	53.2	37.5	

Los resultados están expresados sobre tierra fina seca al aire

INTERPRETACION:

El perfil del suelo presenta textura media a fina (franco limoso a franco arcillo limoso). El pH en pasta es moderadamente alcalino. La conductividad eléctrica medida en el extracto de saturación indica suelo salino. El porcentaje de saturación de sodio indica suelo muy sódico.

En cuanto a fertilidad el suelo está pobremente provisto en materia orgánica y muy bien provisto en fósforo y potasio.

Muestras no extraídas por técnicos del LASAF

Ing. Agr. M.Sc. CRISTINA ARJANI
 AREA SUELOS
 Laboratorio de Servicios
 Agrarios y Forestales
 Aprobó: Claudia Ruiz

Revisión: 01-10

Página 1 de 1
 Ing. Agr. CLAUDIA RUIZ
 Directora del Laboratorio de
 Servicios Agrarios y Forestales
 Dirección General de Sanidad Vegetal
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESQUERÍA

*Laboratorio Certificado en sistema de gestión de la calidad - ISO 9001:2008-
 *Habilitado para fiscalización de plantines de frutilla - N° Registro INASE 17334
 *Laboratorio adherido a la Red del Sistema Metodológico Para Laboratorios de Análisis de Suelos, Aguas, Vegetales y Embricadas Orgánicas (SAMPLA).

Neuquén, 21/03/2016

Destinatario: **Lucía Mañueco**
 Ubicación: **Allen**

DATOS ANALÍTICOS

Muestra N°	17404	17405	17406	17407		
Horizonte	Ap	Bw1	Bw2	Ck		
Profundidad (cm)	0-20	20-60	60-90	90-107		
Textura	Franco limoso	Franco arcillo limoso	Arcillo limoso	Arcillo limoso		
pH (pasta)	7.86	7.75	7.5	7.81		
Conductividad (dS/m)	5.74	4.78	2.09	2.4		
Materia orgánica (%) (Met. Walkley y Black)	3.86	-	-	-		
Carbono orgánico (%)	2.24	-	-	-		
CO ₃ Ca ₂ (%)	4.12	3.7	8.81	10.92		
Sales solubles (meq/l) (ext. saturación)	Cationes	Na ⁺	32.16	25.28	10.33	12.64
		Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	42.45	36.94	13.6	17.21
	Aniones	CO ₃ H ⁻	8.07	3.4	-	-
		Cl ⁻	15.66	10.62	-	-
		SO ₄ ⁼	33.64	33.8	-	-
RAS		7.0	5.88	4.0	4.31	

Los resultados están expresados sobre tierra fina seca al aire

INTERPRETACION:

El perfil de suelo presenta textura fina (franco arcillo limoso a arcillo limoso). El pH en pasta es ligeramente alcalino. La conductividad eléctrica medida en los extracto de saturación indica suelo ligeramente salino. La relación de adsorción de sodio (RAS) indica suelo no sódico.

El suelo está bien provisto de materia orgánica. El contenido de carbonato de calcio indica suelo moderadamente calcáreo.

El horizonte Ap presenta color en seco 10YR 6/2 pardo grisáceo claro, Bw1 10YR 5/3 pardo, Bw2 10 YR 6/3 pardo pálido y Ck 10YR 7/3 pardo muy pálido.


 Ing. Agr. M.S.C. CRISTINA ARJANI
 AREA SUELOS
 Laboratorio de Servicios
 Agrarios y Forestales

Aprobó: Claudia Ruiz

Revisión: 01-10

Muestras no extraídas por técnicos del LASAF


 Ing. Agr. CLAUDIA RUIZ
 Directora del Laboratorio de
 Servicios Agrarios y Forestales
 Dirección Provincial de Sanidad Vegetal
 MINISTERIO DE DESARROLLO TERRITORIAL

*Laboratorio Certificado en sistema de gestión de la calidad - ISO 9001:2008-

*Habilitado para fiscalización de plantines de frutilla - N° Registro INASE 17334

*Laboratorio adherido a la Red del Sistema Metodológico Para Laboratorios de Análisis de Suelos, Aguas, Vegetales y Enmiendas Orgánicas (SAMLA).

7.4 Anexo IV: ficha de descripción del perfil del suelo

Ubicación: chacra n° 76 (39°00'57.03''S; 67°47'13.50''O)

Reconocedores: Schmid, Patricia; Aruani, Cristina; Holzmann, Rosa. 3/3/16

Geomorfología: Terraza 2 – Llanura aluvial subreciente

Material Originario: aluvial Relieve: normal/plano Pendiente: <0,01%

Clase Natural de Drenaje: Muy Bien Drenado a Bien Drenado (según clasificación AV)

Vegetación: frutales carozo; espontanea en el interfilar (40% cobertura)

Especie: Cerezo cv Santina/SL64

Clasificación: Consociación Alto Valle (AV); Cambortides xerolicos de la Familia limosa gruesa, mixta, térmica.

Ap 0 – 0,20 m: pardo grisáceo claro (10 YR 6/2) en seco; pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3) en húmedo; franco limoso; bloques sub angulares medios moderados; duro, firme, adhesivo y ligeramente plástico; presencia de raíces medias y finas.

Bw1 0,20 – 0,60 m: pardo (10 YR 5/3) seco; pardo (10 YR 3/3) húmedo; franco arcillo limoso; bloques sub angulares medios moderados; duro, firme, adhesivo y ligeramente plástico; presencia de raíces medias y finas.

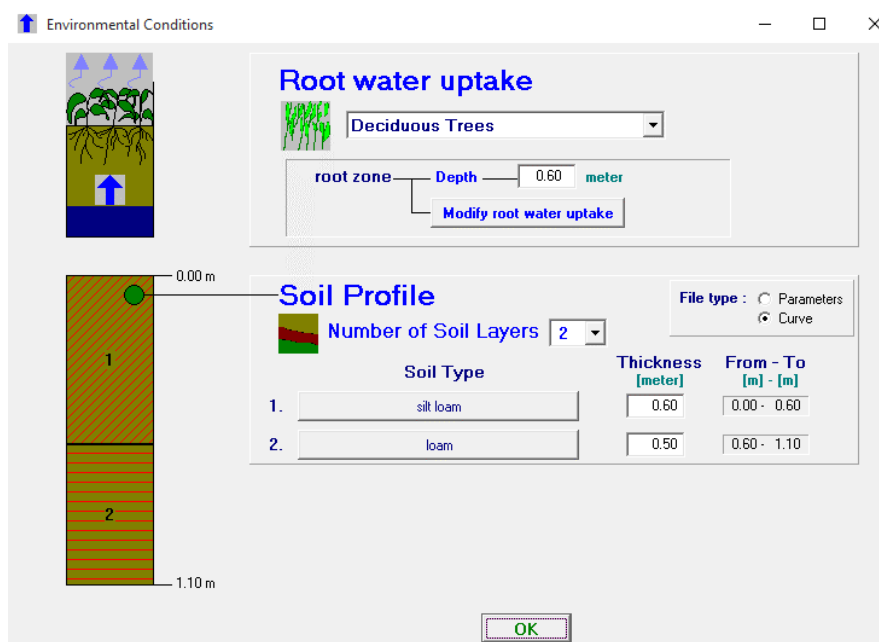
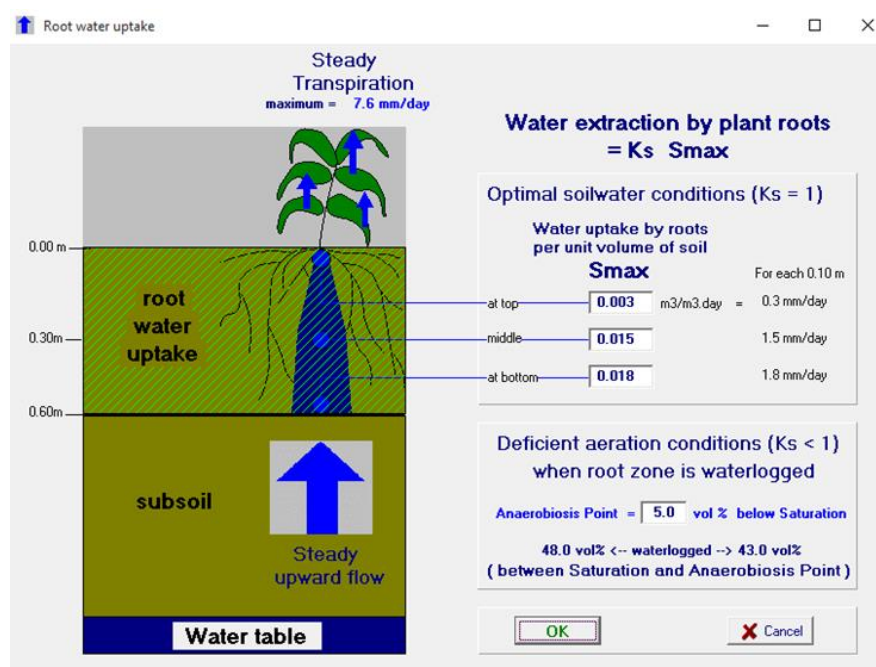
Bw2 0,60 – 0,90 m: pardo pálido (10 YR 6/3); pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3) húmedo; arcillo limoso; bloques sub angulares medios moderados; duro, firme, adhesivo y ligeramente plástico.

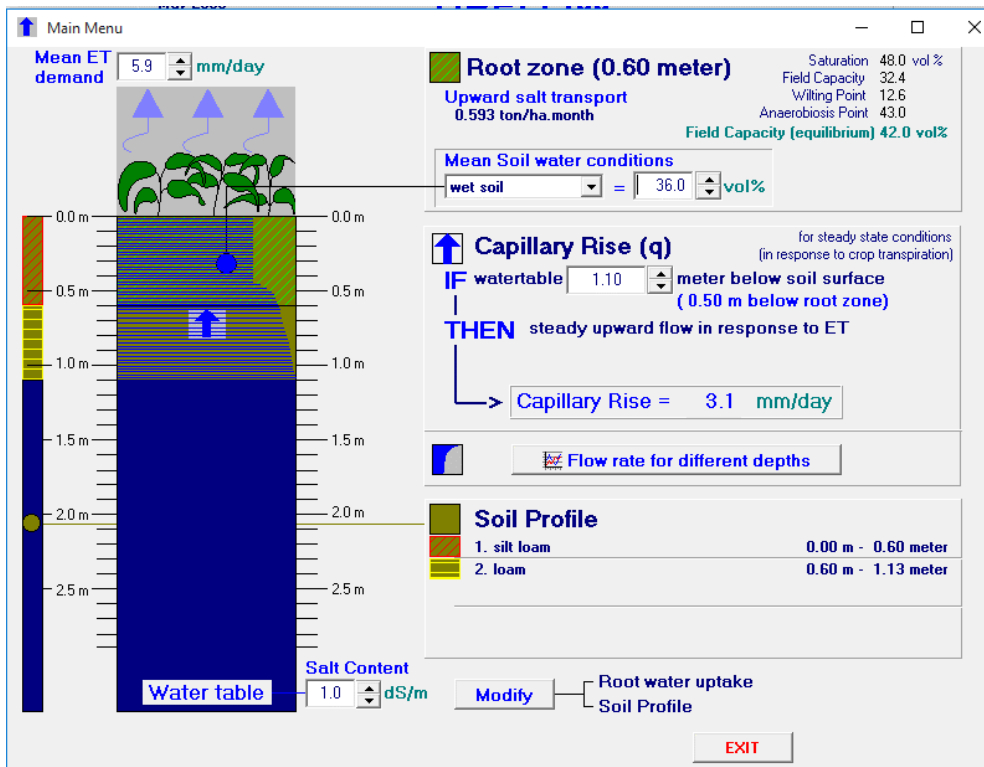
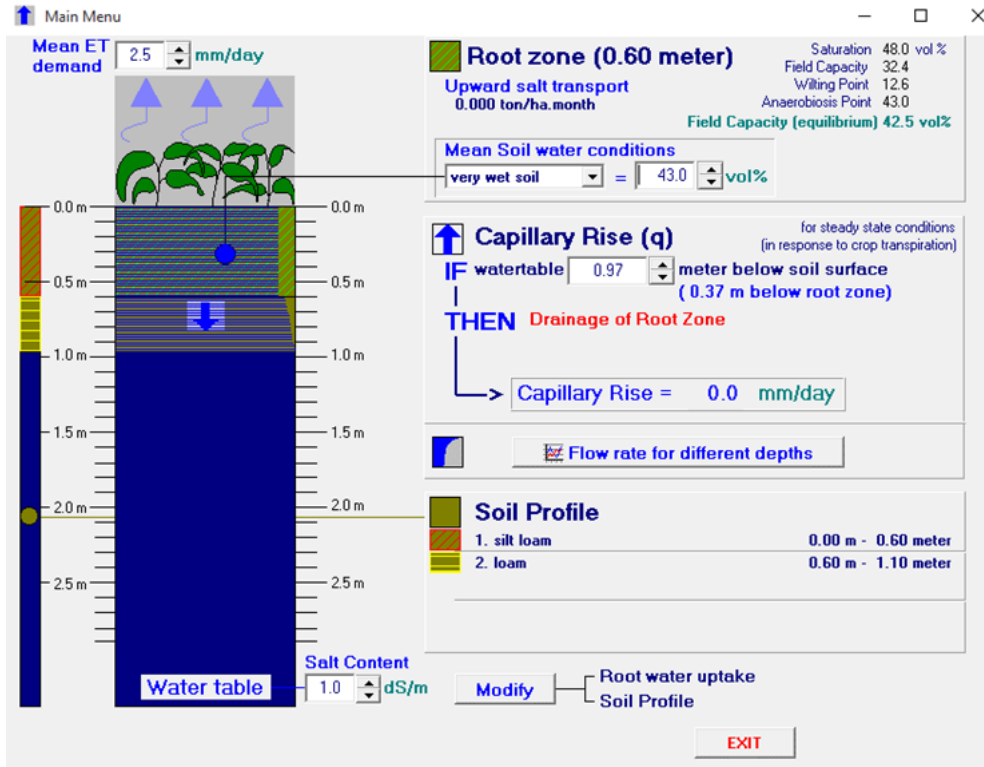
Ck 0,90 – 1,07 m: pardo muy pálido (10 YR 7/3) seco; pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) húmedo; arcillo limoso; micro calcificaciones, venas y nódulos de carbonato de calcio.

7.5 Anexo V: tablas lecturas de nivel freático

Mediciones totales			Resumen
26/09/2012	06/09/2013	25/09/2015	04/10/2012
04/10/2012	14/04/2014	27/10/2015	15/01/2013
12/10/2012	01/05/2014	11/11/2015	30/08/2013
19/10/2012	01/07/2014	14/12/2015	01/05/2014
26/10/2012	25/08/2014	20/01/2016	25/08/2014
02/11/2012	08/09/2014	19/02/2016	26/09/2014
12/11/2012	19/09/2014	28/03/2016	15/01/2015
22/11/2012	26/09/2014	04/05/2016	15/04/2015
03/12/2012	16/10/2014	20/05/2016	31/08/2015
16/12/2012	17/11/2014	10/08/2016	27/10/2015
15/01/2013	22/12/2014	20/09/2016	20/01/2016
30/01/2013	15/01/2015	07/10/2016	28/03/2016
25/02/2013	15/04/2015		10/08/2016
30/08/2013	31/08/2015		07/10/2016

7.6 Anexo VI: simulación del ascenso capilar. Salidas del software UPFLOW





7.7 Anexo VII: balance hídrico para la programación del riego

kc	Necesidad Neta Riego (mm.día ⁻¹)					K (se usa el valor mas alto)		CU	Necesidad Total Riego (mm.día ⁻¹)					MP	Qe	Nº em/planta	Tiempo de Riego (h)			
	ETc					1-EA	Tabla													
	2004	2016	2013	2014	2015	2016	Corr_Ef_Apl		Corr_RL	2004	2016	2013	2014				2015	2016	2004	2016
30-Sept	0,25	0,75	0,75	0,79	0,49	0,15	0,11	0,9	0,98	0,98	1,04	0,64	7	2	3,3	1,03	1,03	1,09	0,67	
10-Oct	0,75	2,21	2,5	1,2	1,8	0,15	0,11	0,9	2,89	3,26	1,57	2,35	7	2	3,3	3,04	3,43	1,64	2,46	
20-Oct	0,75	2,48	2,79	2,56	2,63	0,15	0,11	0,9	3,24	3,65	3,34	3,44	7	2	3,3	3,4	3,84	3,51	3,61	
31-Oct	0,75	3	2,99	3,21	2,58	0,15	0,11	0,9	3,92	3,91	4,19	3,37	7	2	3,3	4,12	4,11	4,4	3,54	
10-Nov	1,1	4,7	4,97	4,44	4,92	0,15	0,11	0,9	6,15	6,5	5,8	6,43	7	2	3,3	6,46	6,82	6,09	6,75	
20-Nov	1,1	4,85	5,69	5,37	5,44	0,15	0,11	0,9	6,34	7,43	7,02	7,1	7	2	3,3	6,66	7,8	7,37	7,46	
30-Nov	1,1	4,91	4,88	5,02	4,74	0,15	0,11	0,9	6,42	6,38	6,56	6,2	7	2	3,3	6,75	6,7	6,89	6,51	
10-Dic	1,15	5,76	6,78	5,58	5,64	0,15	0,11	0,9	7,53	8,87	7,29	7,37	7	2	3,3	7,9	9,31	7,65	7,74	
20-Dic	1,15	5,73	6,15	5,62	6,32	0,15	0,11	0,9	7,48	8,03	7,35	8,26	7	2	3,3	7,86	8,44	7,71	8,67	
31-Dic	1,15	5,65	6,97	6,01	5,35	0,15	0,11	0,9	7,38	9,11	7,85	7	7	2	3,3	7,75	9,57	8,25	7,35	
10-Ene	1,15	5,75	7,34	5,94	4,31	0,15	0,11	0,9	7,52	9,59	7,77	5,63	7	2	3,3	7,9	10,07	8,15	5,91	
20-Ene	1,15	5,57	5,87	5,49	5,77	0,15	0,11	0,9	7,28	7,67	7,18	7,54	7	2	3,3	7,65	8,05	7,54	7,92	
31-Ene	1,15	5,02	5,93	5,42	4,18	0,15	0,11	0,9	6,56	7,76	7,08	5,47	7	2	3,3	6,89	8,14	7,43	5,74	
10-Feb	1,1	4,76	5,92	4,85	3,8	0,15	0,11	0,9	6,22	7,73	6,34	4,97	7	2	3,3	6,53	8,12	6,66	5,22	
20-Feb	1,1	4,15	3,5	4,38	5,26	0,15	0,11	0,9	5,42	4,57	5,72	6,88	7	2	3,3	5,69	4,8	6,01	7,22	
28-Feb	1,1	3,51	3,99	3,82	4,35	0,15	0,11	0,9	4,59	5,22	4,99	5,68	7	2	3,3	4,82	5,48	5,24	5,96	
10-Mar	0,95	2,93	3,7	3,34	2,76	0,15	0,11	0,9	3,82	4,84	4,37	3,61	7	2	3,3	4,02	5,08	4,59	3,79	
20-Mar	0,95	2,74	3,81	3,05	3,16	0,15	0,11	0,9	3,58	4,98	3,99	4,14	7	2	3,3	3,76	5,23	4,19	4,34	
31-Mar	0,95	2,35	2,67	2,36	2,42	0,15	0,11	0,9	3,07	3,49	3,08	3,16	7	2	3,3	3,23	3,66	3,24	3,32	
10-Abr	0,85	1,76	1,18	1,77	1,37	0,15	0,11	0,9	2,3	1,54	2,32	1,8	7	2	3,3	2,42	1,61	2,43	1,89	
20-Abr	0,85	1,62	1,93	1,55	1,66	0,15	0,11	0,9	2,12	2,52	2,03	2,17	7	2	3,3	2,23	2,65	2,13	2,28	
30-Abr	0,85	1,36	1,31	0,95	1,2	0,15	0,11	0,9	1,78	1,72	1,24	1,57	7	2	3,3	1,87	1,8	1,3	1,65	
mm.año ¹	826	927	838	807	0,15	0,11	0,9	1079	1212	1095	1054	7	2	3,3	1133	1273	1150	1107		