

12. Manejo del Agua de Riego en el Cultivo de Papa

Rafael López-Olivari
Ing. Agrónomo Dr.
Mauricio Zúñiga Sánchez(*)
Ing. Agrónomo Dr.
INIA Carillanca



(*) Investigador INIA Carillanca hasta agosto de 2018

12.1 Introducción

La papa es uno de los cuatro cultivos de mayor importancia a nivel nacional, concentrando su mayor producción en las regiones de La Araucanía (26%) y Los Lagos (33%) (ODEPA, 2017). Las necesidades hídricas de este cultivo pueden variar dependiendo de la zona geográfica y en gran medida del objetivo productivo al que estén destinadas (papa “temprana”, “guarda” o “semilla”).

Sin embargo, diversos estudios alrededor del mundo señalan al proceso de cambio climático como responsable de las distintas alteraciones climáticas que se han manifestado con mayor fuerza en las últimas décadas. A nivel nacional, se ha indicado que existe una creciente disminución del nivel de precipitaciones que afecta principalmente a la zona centro-sur de nuestro país. Adicionalmente, este problema se incrementa de manera periódica dependiendo de la aparición del fenómeno conocido como corriente de “La niña”, la cual produce una considerable disminución del nivel de precipitaciones. Debido a lo anterior, muchos productores de la zona centro-sur y sur se han visto enfrentados a una necesidad antiguamente desconocida, como es asegurar el agua de riego para sus cultivos. El aporte de agua de riego es una tarea fundamental para obtener buenos rendimientos y calidad de los productos agrícolas.

El manejo del agua de riego depende de diversos factores tales como: (a) disponibilidad del recurso hídrico; (b) método o sistema de riego (gravitacional o presurizado); (c) tipo de suelo y manejo agronómico (preparación); (d) estado fenológico del cultivo (variedad) y (e) demanda atmosférica (clima). Asegurar un correcto estado hídrico del cultivo de la papa durante todo el período de crecimiento y desarrollo puede garantizar en gran medida la obtención de altos rendimientos y un óptimo tamaño del tubérculo, ya que el agua es clave para asegurar un correcto transporte de nutrientes desde el suelo hacia a la planta, un óptimo nivel de fotosíntesis y de transpiración. Estos procesos son determinantes para la formación y acumulación de materia seca en el tubérculo, asegurando altos rendimientos en el cultivo de papa.

12.2 Demanda hídrica del cultivo

Los sistemas agrícolas pierden agua a través de un proceso denominado evapotranspiración de cultivo (ETc) (Foto 1). La ETc es un proceso combinado que ocurre de manera simultánea, donde el agua presente en el sistema (cultivo) es traspasada a la atmósfera mediante: la evaporación directa desde el suelo húmedo y la transpiración de la planta a través de sus estomas. La cantidad de agua utilizada en este proceso dependerá principalmente de variables climáticas (radiación solar, temperatura, humedad relativa, precipitaciones y velocidad del viento).

En la medida que existan inviernos con escasas precipitaciones y primaveras secas y con altas temperaturas, el cultivo de la papa necesitará aplicaciones de agua mediante el riego de manera anticipada y con mayor frecuencia, generando mayor gasto de agua a lo largo de la temporada.

Para hacer una correcta programación de riego que permita reponer eficientemente el agua perdida a través de la ETc, es necesario conocer de manera precisa diversos factores que tienen relación con el tipo de suelo, necesidades de agua según período fenológico del cultivo y la demanda atmosférica.

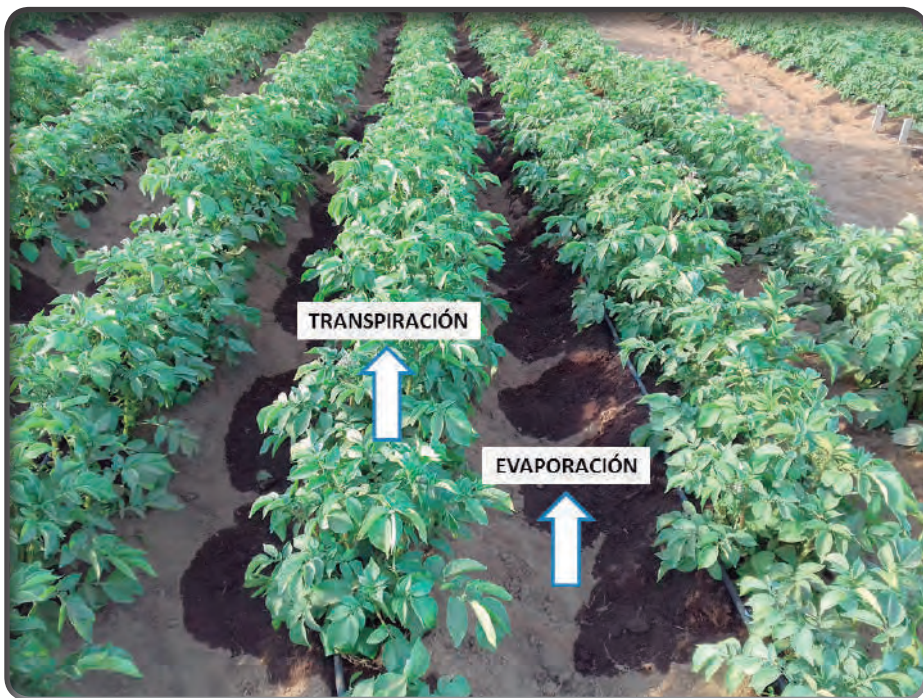


Foto 1. Esquema del movimiento de agua en el proceso de evapotranspiración del cultivo (ETc) de papa

12.3 Tipo de Suelo

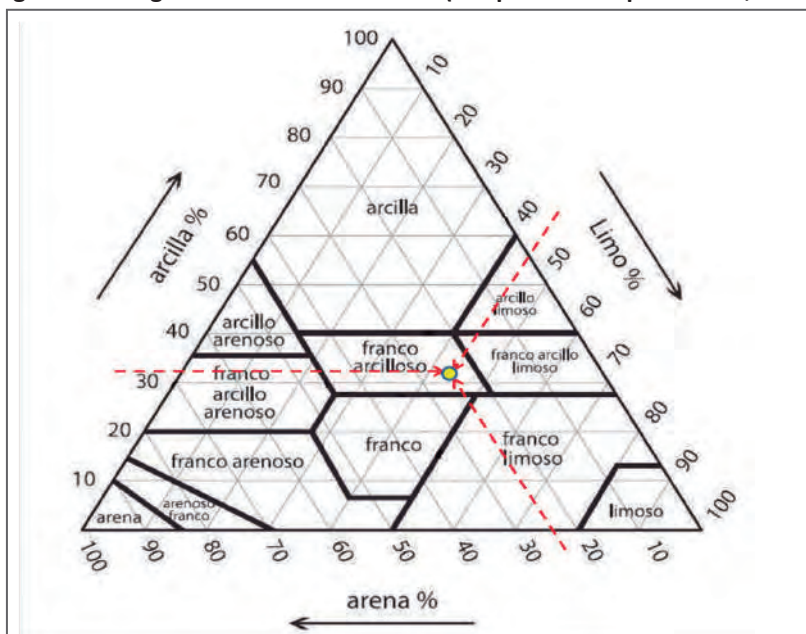
Las características físicas del suelo (textura, estructura, profundidad y presencia de materia orgánica) determinan en gran medida el tiempo y frecuencia de riego, ya que intervienen de forma directa en la capacidad de retención de humedad en el suelo.

La textura de suelo se refiere al tamaño de las partículas que lo componen y la proporción de cada uno de ellos en el suelo, representado por la cantidad de arena, limo y arcilla. La textura depende principalmente de la naturaleza de la roca madre y

de los procesos evolutivos que generaron ese suelo. La estructura del suelo se refiere a la forma en cómo se “presentan o distribuyen” estas partículas en él, cuestión que determinará, entre otras cosas, el espacio poroso del suelo.

Los distintos porcentajes de arena, limo o arcilla dan origen a los distintos tipos de suelo, los cuales se pueden identificar conociendo dichos porcentajes a través del conocido triángulo textural de suelo (Figura 1). De esta forma, es posible encontrar desde suelos arenosos (suelos livianos) con una escasa retención de humedad, hasta suelos muy arcillosos (suelos pesados) los cuales pueden presentar problemas de infiltración provocando en la mayoría de los casos anegamiento en los cultivos (problemas de aireación en la zona radicular). En el caso de la papa, se ha encontrado que los suelos más favorables para el buen crecimiento y desarrollo para obtener un buen rendimiento del cultivo son aquellos con textura franca que contengan entre 8 a 25% de arcilla y no más de 50% de arena. De forma adicional, el contenido de materia orgánica en el suelo ayuda sustancialmente a una mayor retención del agua aplicada.

Figura 1. Triángulo textural de los suelos (Adaptado de López-Olivari, 2016)



Otra alternativa, es sacar una o varias muestras representativas de suelo según estratas tenga el perfil y enviarlas a un laboratorio especializado para la determinación de la textura, curvas de retención de humedad y densidad aparente del suelo.

12.4 Disponibilidad de agua en el suelo

Existen tres niveles de humedad en el suelo conocidos como: Saturación (S), Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP). Estos niveles de humedad en el suelo cambian dependiendo de la textura, contenido de materia orgánica y porcentaje de piedras que presente el suelo. La diferencia entre los niveles de CC y PMP se conoce como Humedad Aprovechable (HA) o Agua Disponible Total (ADT), representando el nivel de agua total que pueden extraer las plantas. Bajo el nivel de PMP, la humedad presente en el suelo se encuentra retenida con una fuerza mayor a la que ejercen las raíces para absorber el agua, por lo que la planta es incapaz o limita considerablemente la absorción de agua.

- **Saturación (S):** el nivel de saturación se observa inmediatamente después de un riego o lluvia abundante. El espacio poroso presente en el suelo se encuentra en un 100% lleno de agua, por lo que es incapaz de almacenar más agua. Si persiste la aplicación de agua, esta podrá moverse verticalmente generando una percolación a capas más profundas (si el suelo lo permite), o producir escurrimiento superficial (encharcamiento).
- **Capacidad de Campo (CC):** es el nivel de contenido de agua posterior al período de saturación cuando se ha drenado libremente el excedente de agua. Generalmente esta condición se presenta entre 24 a 48 horas (si las condiciones de suelo lo permiten, según permeabilidad), presentando un pequeño porcentaje de aire en los poros del suelo. Este nivel se considera como el nivel superior de almacenamiento de humedad óptima, donde el agua es absorbida por la planta con mayor facilidad.
- **Punto de Marchitez Permanente (PMP):** corresponde al nivel de humedad en el suelo donde las raíces son incapaces de realizar absorción de esa agua, pudiendo presentar una marchitez irreversible y morir. En este sentido, se considera al PMP como el nivel más bajo del agua útil total en el suelo.
- **Humedad aprovechable (HA) y Agua fácilmente aprovechable del suelo (AFA):** la humedad aprovechable corresponde al agua almacenada en el suelo entre CC y PMP. Esta cantidad de agua varía dependiendo de la textura del suelo, densidad aparente, contenido de materia orgánica y presencia de piedras (Figura 2). Dentro del total de HA solo un porcentaje es de absorción fácil para el cultivo (depende de la especie) por lo que bajo este nivel la planta absorbe con mayor dificultad el agua del suelo. A esta fracción se le denomina umbral o criterio de riego (UR o Cr) y depende principalmente de la sensibilidad del cultivo a la falta de agua y del tipo de suelo en el que se desarrolla. Así, la diferencia entre CC y UR se conoce como agua fácilmente aprovechable (AFA).

Dado que el cultivo de papa es sensible a la falta de agua en el suelo, el umbral de riego apropiado se encuentra entre 30 a 40% de la HA. Agotado este nivel de humedad en el suelo, se debe dar inicio al riego para no afectar el correcto crecimiento y desarrollo del cultivo.

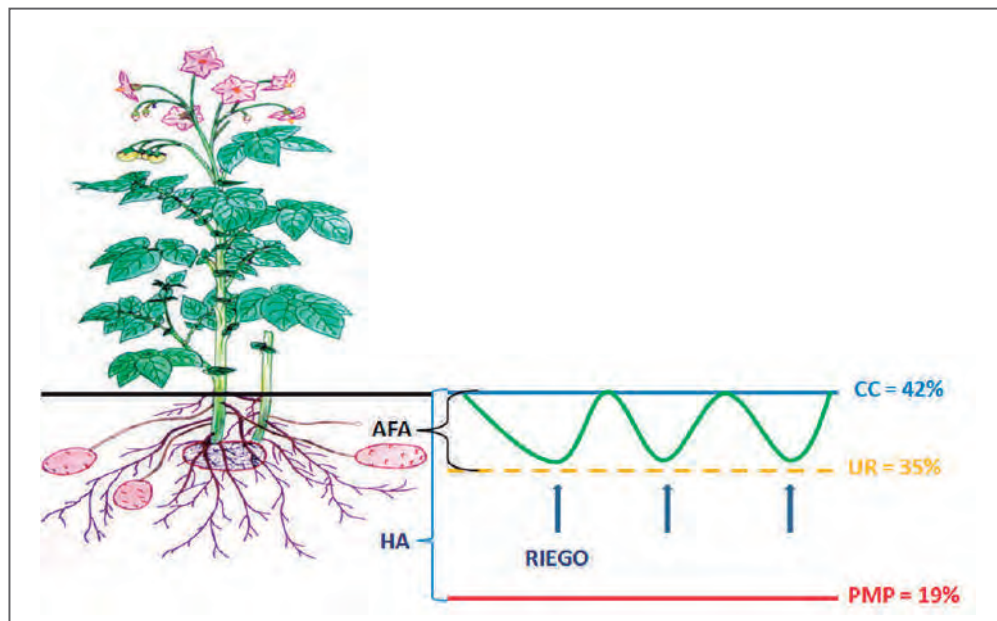


Figura 2. Diagrama esquemático de los conceptos de Humedad aprovechable (HA), Agua Fácilmente Aprovechable (AFA), Criterio o Umbral de Riego (UR), Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP). (Elaboración propia)

12.5 Cultivo y clima

El agua almacenada en el suelo tras una lluvia o riego y que está disponible para la planta, se irá agotando dependiendo de diversos factores de planta (etapa fenológica) y variables climáticas (radiación solar, temperatura, humedad relativa, precipitaciones y velocidad del viento). La interacción de estos factores (planta y clima) está dada por el coeficiente único de cultivo (K_c) (Allen et al., 1998; Haverkort and MacKerron, 2006). Este coeficiente permite ajustar los valores medidos de evapotranspiración de referencia (ETo) para determinar finalmente la evapotranspiración del cultivo (ETc).

12.5.1 Coeficiente de cultivo (K_c): el coeficiente de cultivo es un factor asociado a diversas características específicas que puedan presentar los diferentes cultivos tales como: arquitectura del cultivo (altura, índice de área foliar y fracción de cobertura); resistencias que la planta presenta al flujo de agua (resistencia radicular y resistencia estomática). Este coeficiente varía a lo largo de la temporada de crecimiento, según la etapa de desarrollo (Figura 3 y Cuadro 1). Sin embargo, para la región de La Araucanía solo existen coeficientes de cultivo para papa en períodos de tiempo mensual (Cuadro 2). Los coeficientes de cultivo mensuales presentan ciertas desventajas, ya que puede coincidir que dos etapas fenológicas se presenten en el mismo mes o que una etapa fenológica se presente durante dos meses, lo que podría implicar errores en la correcta determinación de los tiempos y frecuencias de riego.

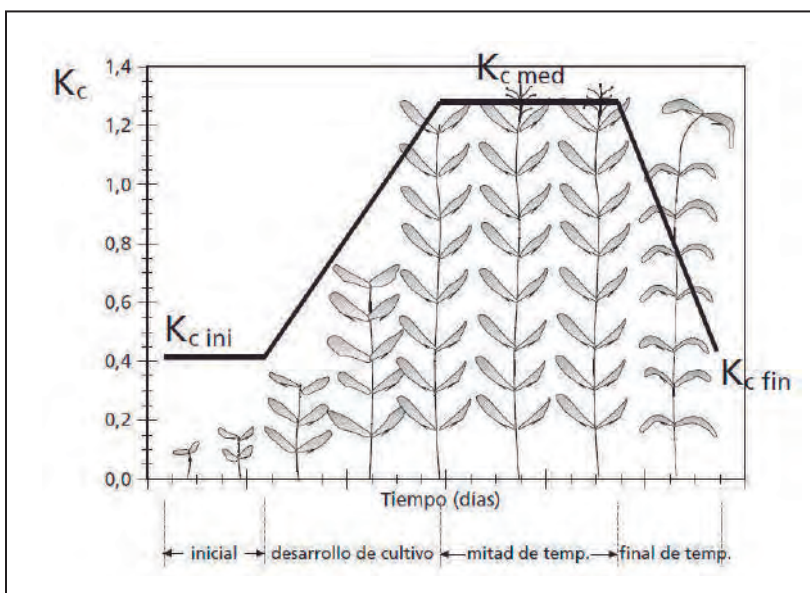


Figura 3. Curva genérica del coeficiente de cultivo (K_c) según la etapa de desarrollo de un cultivo (Allen *et al.*, 1998)

Cuadro 1. Coeficientes únicos de cultivo (Kc) referenciales para el cultivo de papa consumo según el estado de desarrollo asociado al porcentaje de cubrimiento del follaje en el suelo (Haverkort and MacKerron, 2006)

Fases de crecimiento y desarrollo de la papa (% de cobertura follaje en el suelo)					
Inicial (0-10%)	Desarrollo (10-80%)	Media (80%-comienzo senescencia)	Madurez (durante senescencia)	A cosecha	temporada
0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,20	0,85-0,95	0,70-0,75	0,75-0,90

Cuadro 2. Coeficientes de cultivo (Kc) mensuales para el cultivo de papa (Jerez *et al.*, 1994)

Coeficiente de cultivo (Kc)					
Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
0,25	0,41	0,70	0,77	0,74	0,59

12.5.2 Evapotranspiración de referencia: para determinar la ETc y conocer la demanda hídrica del cultivo es necesario conocer la evapotranspiración de referencia (ETo). Según acuerdos internacionales (Allen *et al.*, 1998), la ETo corresponde a la pérdida de agua de una cobertura vegetal siempre verde (alfalfa o festuca) con una altura entre 8 a 15 cm. Dicha cobertura debe cubrir completamente el suelo y estar bajo un óptimo manejo agronómico (bien regada, buen estado fitosanitario y de fertilidad). Al cumplir estas condiciones, la ETo solo dependerá de las condiciones climáticas presentes (radiación solar, temperatura, humedad relativa, precipitaciones y dirección del viento) y no será afectada por factores ajenos a dichas variables.

Para determinar ETo actualmente se utilizan las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que se ubican bajo esta condición de referencia (Foto 2). Así, la ETo se puede encontrar en el sitio web de INIA (disponible en: www.agromet.inia.cl), asociando con la ETc según la siguiente ecuación:

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc = evapotranspiración de cultivo (mm día⁻¹)

ETo = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Kc = coeficiente de cultivo (adimensional).

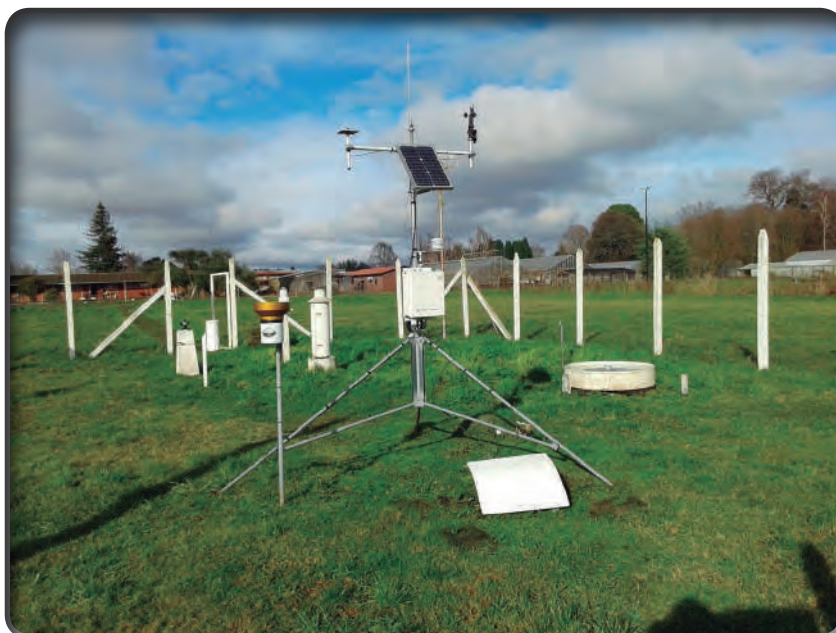


Foto 2. Estación Meteorológica automática (EMA) instalada sobre un pasto en condiciones de referencia

12.6 Concepto de programación de riego en el cultivo de papa

La programación del riego (PR) es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de agua a reponer durante todo el período de crecimiento y desarrollo del cultivo de papa, con el fin de optimizar su uso y maximizar la producción y calidad de los tubérculos. Así, PR consiste, principalmente, en responder las dos preguntas fundamentales: ¿cuándo y cuánto regar?. El ¿cuándo regar? se refiere al momento que se debe aplicar el agua de riego (frecuencia de riego). Para determinar el momento del riego hay que considerar el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo (agua disponible total por las plantas). Mientras que el ¿cuánto regar? se refiere al tiempo que el agua de riego debe estar goteando (riego por goteo) para reponer los consumos hídricos del cultivo de papa. Esto depende de la ETc y la precipitación del equipo de riego por goteo. También el tiempo y frecuencia de riego dependen de la magnitud de las precipitaciones durante el período fenológico del cultivo de papa, ya que parte de éstas suplen las necesidades de agua (lluvias efectivas). Lo anterior, es una variable importante a considerar en zonas lluviosas, como es el caso del sur de Chile.

12.7 Evaluación de sistema de riego por goteo en cultivo de papa

El efecto sobre el rendimiento de diferentes niveles de reposición de agua aplicados a través de un sistema de riego por goteo fue evaluado. El rendimiento, la materia seca de los tubérculos y el uso del agua en cinco variedades de papa (Desireé, Patagonia INIA, Rodeo, Karú INIA y Pukará INIA) fue medido en un ensayo experimental realizado durante la temporada 2015/2016 en el “Centro Regional de la Papa Tranapunte”, ubicado en la comuna de Carahue, Región de La Araucanía, Chile.

El estudio fue llevado a cabo en una superficie de 890 m² bajo un diseño estadístico de parcelas divididas con tres repeticiones (Foto 3). La textura de suelo en sus primeros 30 cm de profundidad fue franco-limosa con una humedad a Capacidad de Campo (CC) de 50,12%, una humedad a Punto de Marchitez Permanente (PMP) de 29,72% y una densidad aparente de 0,92 gr/cm³. La plantación se realizó el 19 de octubre de 2015 en un marco de plantación de 0,75 x 0,25 m donde el resto de los manejos agronómicos se efectuaron según requerimientos del cultivo y condición de suelo de forma homogénea para todas las variedades.



Foto 3. Vista del ensayo de repeticiones hídricas aplicado por el sistema de riego por goteo

El sistema de riego estuvo compuesto por una línea de riego por hilera, con una separación de gotero cada 0,25 m (un gotero por planta). Los niveles de reposición hídrica fueron T3: bien regado (reposición de la pérdida de un 35% de la humedad aprovechable del suelo), T2: reposición del 75% de T3, T1: reposición del 50% de T3, y T0: sin reposición de agua de riego. Las reposiciones se hicieron calculando reponer el nivel de humedad a una profundidad de 30 cm y con un umbral de riego (UR) de 35%.

12.8 Resultados

Los resultados indican que para el rendimiento total se encontraron diferencias estadísticas significativas tanto en los niveles de riego como en las variedades. El tratamiento T3 (bien regado) fue superior a todos los otros niveles de riego evaluados (promedio de 81,1 ton ha⁻¹), siendo T0 (solo lluvia natural) el que obtuvo el menor rendimiento promedio (40,1 ton ha⁻¹). Los tratamientos T2 y T1 no presentaron diferencias significativas estadísticamente entre ambos, obteniendo un promedio de 57,1 ton ha⁻¹ y 53,5 ton ha⁻¹, respectivamente.

En cuanto a las diferencias entre variedades, Rodeo resultó ser la variedad con menor rendimiento promedio en casi todos los niveles de reposición hídrica, con alrededor de 46,0 ton ha⁻¹, mientras que Pukará INIA y Patagonia INIA presentaron los rendimientos más altos en casi todos los niveles de reposición hídrica con 64,0 ton ha⁻¹ y 67,0 ton ha⁻¹, respectivamente. Las variedades Desiree y Karú INIA, presentaron rendimientos intermedios de 55,0 ton ha⁻¹ y 57,0 ton ha⁻¹, respectivamente.

En el gráfico 1 se muestra la interacción entre los 4 niveles de reposición hídrica y las 5 variedades estudiadas. A pesar que no se registraron diferencias significativas entre ellos (variedad x nivel de riego), se observa que para todas las variedades existe un patrón de aumento en los niveles de rendimiento a medida que aumenta la cantidad de agua aplicada. En este sentido, la variedad Patagonia INIA fue la que obtuvo mayores rendimientos en casi todos los niveles hídricos, alcanzando un promedio de 100,0 ton ha⁻¹ para el tratamiento T3 (bien regado). El menor rendimiento se registró en la variedad Rodeo bajo condiciones de secano con 27,0 ton ha⁻¹ (secano).

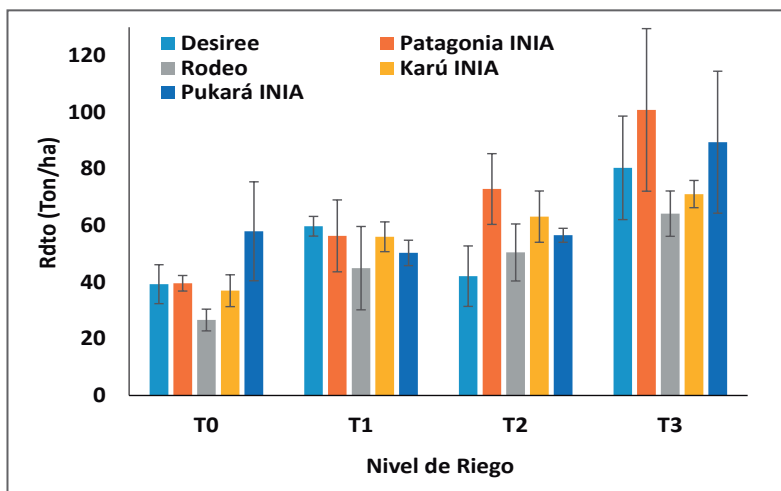


Gráfico 1. Rendimientos promedio por variedad y nivel de reposición hídrica en ensayo de riego por goteo, Tranapunte, comuna de Carahue, temporada 2015/2016

En el gráfico 2 se muestra la interacción entre variedad y nivel de reposición hídrica para la variable peso seco (ton ha⁻¹). En este sentido, la interacción no tuvo diferencias significativas (nivel de riego x variedad). Sin embargo, la variedad Pukará INIA presentó los valores más altos bajo el tratamiento T0 (condición de lluvia natural), mientras que la variedad Karú INIA en el tratamiento T1 (aplicación del 50% de T3), ambos con rendimiento en peso seco de 8,3 ton ha⁻¹. Por otro lado, los valores más bajos se obtuvieron en la variedad Desireé (5,3 ton ha⁻¹) para el tratamiento T2 (aplicación del 75% de T3), en la variedad Pukará INIA (5,6 ton ha⁻¹) y Rodeo (5,7 ton ha⁻¹) en el tratamiento T1 (aplicación del 50% de T3), y finalmente en la variedad Rodeo (5,6 ton/ha) bajo el tratamiento T0 (solo lluvia natural). Sin embargo, la variedad Patagonia INIA presentó valores relativamente más estables en comparación a las otras variedades para todas las condiciones hídricas evaluadas con valores entre 6,6 y 7,4 ton MS/ha. El promedio de peso seco para todos los tratamientos fue de 6,6 ($\pm 0,8$) ton ha⁻¹.

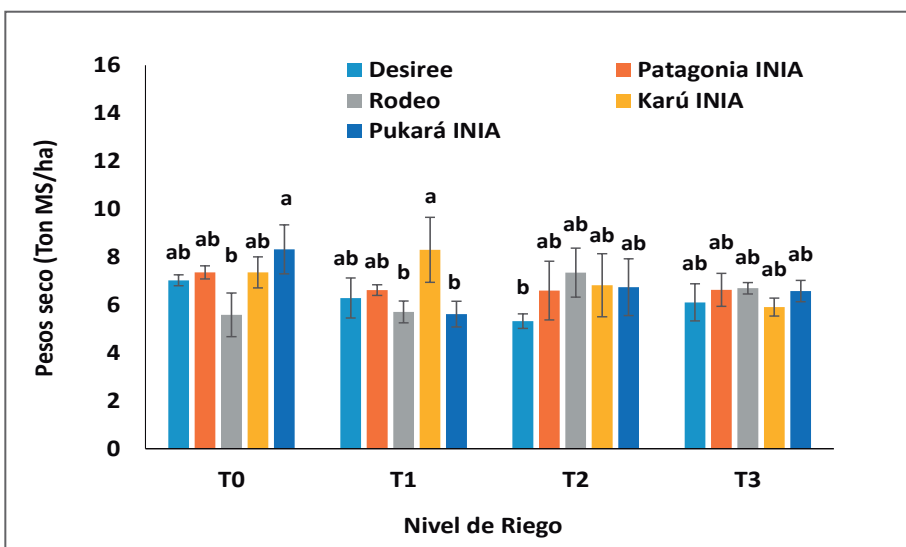


Gráfico 2. Peso seco promedio por variedad y nivel de reposición hídrica en el ensayo de riego por goteo, Tranapunte, comuna de Carahue, temporada 2015-2016

En el gráfico 3 se muestran los resultados obtenidos para la variable uso del agua (m³ de agua aplicada por kg MS producida). Los resultados indican que la variedad más eficiente en la utilización del agua fue Pukará INIA con 0,038 m³ de agua usada para producir un kilogramo de materia seca (38 L/kg MS), mientras que la variedad Rodeo fue la más ineficiente ya que utilizó 0,057 m³ para producir un kilogramo de materia seca (57 L por kg MS) ambos para el tratamiento T0 (solo lluvia natural). Además, las variedades Desireé y Rodeo usaron más agua para producir un kilogramo de MS

para todos los niveles hídricos evaluados con un valor promedio de 0,051 y 0,050 m³/kg MS, respectivamente. Mientras que las variedades Karú INIA, Patagonia INIA y Pukará INIA utilizaron menos agua para producir el mismo kilogramo de MS para todos los niveles hídricos evaluados con valores de 0,045; 0,046 y 0,047 m³/kg MS, respectivamente. El valor promedio de uso del agua aplicada fue para todos los tratamientos de 0,048 (±0,006) m³ de agua por kg MS (48 L por kg MS producida).

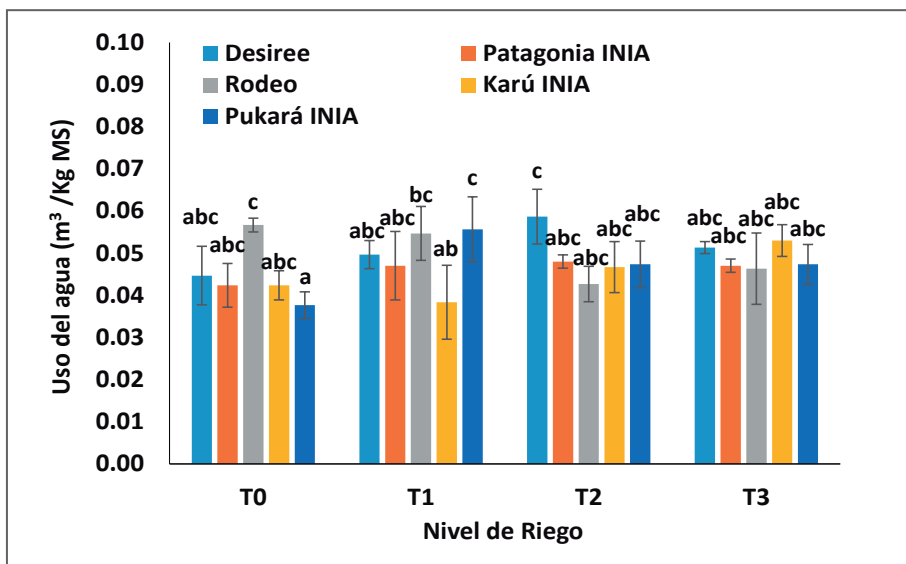


Gráfico 3. Uso promedio del agua de riego aplicada por variedad y nivel de riego a través del sistema de riego por goteo, Tranapunte, comuna de Carahue, temporada 2015-2016

12.9 Consideraciones Finales

Considerando la creciente disminución de los recursos hídricos disponibles durante el período de crecimiento y desarrollo del cultivo de papa en la zona sur de Chile, es necesario realizar acciones que permitan un uso eficiente y óptimo del recurso hídrico enfocado en el objetivo productivo.

En este sentido, el riego por goteo es una alternativa que permite aportar agua de manera localizada para el cultivo de papa, disminuyendo las pérdidas por humedecimiento excesivo del suelo.

Los resultados encontrados en este estudio permitieron demostrar que existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de rendimiento, tanto para las variedades como para el nivel de agua aplicada. Respecto a esto último, para el caso de la variedad Patagonia INIA, es posible encontrar diferencias de alrededor

de 60 ton ha⁻¹ entre las plantas bien regadas en comparación a las plantas bajo condiciones de secano.

Finalmente, las variedades INIA de papa evaluadas en este estudio (Karú INIA, Pukará INIA y Patagonia INIA) serían más eficientes en el uso del agua aplicada para producir un kilogramos de materia seca comparado a las otras dos variedades extranjeras (Desirée y Rodeo) bajo una condición de secano.

Literatura Consultada

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations FAO, Rome, p 300. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>.

Haverkort, A.J. and MacKerron, D. K. 2006. Management of Nitrogen and Water in Potato Production. Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands. 353 p.

López-Olivari, R. 2016. Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el Sur de Chile: conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Carillanca. 156 pp.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2017. Información regional de superficie sembrada, producción y rendimientos anuales. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> Consultado el 13 julio 2018.

