



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EMPLEANDO MANGAS PLÁSTICAS EN LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ SEMILLERO EN LA REGIÓN DEL MAULE**

MEMORIA DE TÍTULO

NÉSTOR RENATO SALINAS DÍAZ

**TALCA, CHILE
2019**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EMPLEANDO MANGAS PLÁSTICAS EN LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ SEMILLERO EN LA REGIÓN DEL MAULE.**

Por

**NÉSTOR RENATO SALINAS DÍAZ
MEMORIA DE TÍTULO**

**Presentada a la
Universidad de Talca como
parte de los requisitos para optar al título de**

INGENIERO AGRÓNOMO

TALCA, 2019

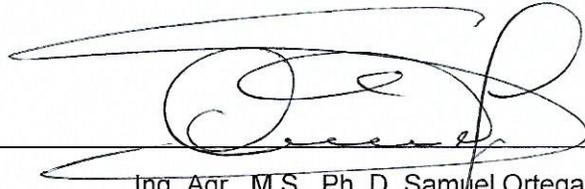
CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



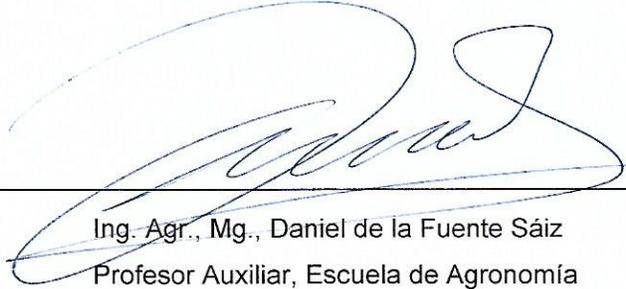
Talca, 2019

ACTA DE APROBACIÓN



Profesor Guía

Ing. Agr., M.S., Ph. D. Samuel Ortega Fariás.
Profesor Titular, Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca.



Profesor Co-Guía

Ing. Agr., Mg., Daniel de la Fuente Sáiz
Profesor Auxiliar, Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca.

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a los pilares fundamentales en el desarrollo de mi vida universitaria, a mis queridos padres, quienes me han apoyado desde el primer minuto en que decidí elegir la carrera de agronomía, Eufemia Díaz y Mario Salinas los amo y les agradezco de todo corazón todo lo que me han dado y apoyado.

Agradezco de igual forma a mis hermanos, Mariela y Juan Salinas, quienes también me han acompañado durante el desarrollo de mi vida universitaria y me han ayudado con lo que he necesitado.

También quiero agradecer a mi polola, a su familia y los amigos que tengo en la universidad y en la vida, por cada momento vivido.

Al profesor Samuel Ortega también agradezco por depositar su confianza en mí, por ocupar parte de su tiempo y por permitirme desarrollar el proyecto cómodamente en las instalaciones del CITRA.

Al profesor Daniel de la Fuente Sáiz quien más que un profesor es un amigo, que me ha entregado en muchas ocasiones conocimientos, consejos y una palabra de aliento en los momentos de frustración, le agradezco con mucha humildad también por gastar gran parte de su tiempo en ayudarme a desarrollar el proyecto.

Para finalizar agradezco a cada persona que con su trabajo y esfuerzo permiten desarrollar de forma grata el paso por la Universidad.

Con cariño.
Néstor Salinas Díaz.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar los efectos de la implementación diferenciada de riego por manga y riego tradicional en el rendimiento y la productividad del agua en maíz semillero (*Zea mays* L.), se realizó un ensayo en la comuna de San Clemente, sector San Jorge Norte (35°31'77" S; 71°28',37" O; 230 m.s.n.m.), Región del Maule, Chile, que consistió en comparar tres métodos diferenciados de riego: (T1) Riego por surco tradicional; (T2) Riego por manga sin programación y (T3) Riego por manga con programación, en donde se midieron variables como humedad de suelo y los componentes del rendimiento. Los resultados indicaron que en los componentes del rendimiento se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los diferentes tratamientos. El T3 fue quien presentó mayor eficiencia en el uso del agua (64%) ahorrándose respecto al T1 un 61% de agua durante la temporada, tratamiento que pese a usar menos agua que los otros dos, aumento su rendimiento en un 8% logrando 3.516 kg/ha, seguido está el T2 que presentó un 40% de eficiencia en el uso del agua con ahorros de 37% de agua durante la temporada respecto al T1 y presentando un rendimiento de 2.241 kg/ha y por último el T1 quien tan solo presentó un 25% de eficiencia del uso del agua, siendo el menos productivo con la utilización del recurso hídrico, pero presentando un rendimiento de 3.249 kg/ha, mayor al rendimiento del T2, lo que indica lo beneficioso de usar un sistema por manga con programación del riego en contraste de ambas herramientas por separado.

ABSTRACT

In order to evaluate the effects of differentiated implementation on irrigation techniques such as surge and surface irrigation, in yield and water productivity in seed corn (*Zea mays* L.), an evaluation was performed in San Jorge Norte, a rural area near San Clemente (35°31'77" S; 71°28',37" O; 230 m.a.s.l.) Maule region, Chile. The test consisted used three differentiated techniques in irrigation on maize: (T1) traditional surface irrigation, (T2) surge irrigation non scheduled and (T3) surge irrigation scheduled, were variables such as soil moisture and yield components were measured. The results indicated there are significant differences ($p \leq 0,05$) between the different treatments in yield components The T3 was the one that presented greater efficiency in the use of water (64%) saving with respect to the T1 61% of water during the season, treatment that despite using less water than the other two, increased its yield by 8% achieving 3.516 kg / ha followed is the T2 that presented a 40% efficiency in the use of water with savings of 37% of water during the season with respect to T1 and presenting a yield of 2,241 kg / ha and finally the T1 who only showed a 25% efficiency in the use of water, being the least productive with the use of water resources, but presenting a yield of 3,249 kg / ha, higher than the yield of T2, which indicates It is beneficial to use a system by sleeve with irrigation scheduled in contrast of both tools separately.

ÍNDICE

| | | |
|-------------|--|-----------|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| | 1.1 Hipótesis | 2 |
| | 1.2 Objetivo general | 2 |
| II. | REVISION BIBLIOGRAFICA | 3 |
| | 2.1 Importancia económica del maíz..... | 3 |
| | 2.2 Factores limitantes de la producción de maíz | 4 |
| | 2.3 Requerimientos hídricos | 4 |
| | 2.3.1 Estimación de la evapotranspiración del cultivo | 5 |
| | 2.4 Incorporación de tecnologías en la programación del riego por surcos . | 6 |
| III. | MATERIALES Y METODOS | 9 |
| | 3.1 Descripción del ensayo | 9 |
| | 3.2 Desarrollo del ensayo | 10 |
| | 3.2.1 Estudio en terreno | 10 |
| | 3.2.2 instalación de equipamiento en terreno | 11 |
| | 3.2.3 Programación del riego | 11 |
| | 3.2.4 Seguimiento y control en terreno..... | 13 |
| | 3.3 Evaluación y análisis de los resultados | 13 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSION..... | 15 |
| | 4.1 Condiciones climáticas | 15 |
| | 4.2 Niveles de fertilización foliar..... | 17 |
| | 4.5 Componentes del rendimiento | 22 |
| | 4.4 Análisis económico | 25 |
| V. | CONCLUSIONES | 26 |
| VI. | BIBLIOGRAFÍA | 27 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Características físico-hídricas del suelo en Fundo “La Hormiga”, San Clemente, Chile. | 10 |
| Cuadro 2. Coeficientes de cultivo para maíz, para todo su desarrollo. | 13 |
| Cuadro 3. Productividad del agua, caudales aplicados, eficiencia y rendimiento de los diferentes tratamientos realizados en maíz semillero, en la comuna de San Clemente, región del Maule. | 21 |
| Cuadro 4. Resumen de los análisis estadísticos a los componentes del rendimiento de maíz semillero de la temporada 2017-2018. (San Clemente, región del Maule, Chile). | 24 |
| Cuadro 5. Costos de implementación de un sistema de riego por mangas en uno de los tratamientos de cultivo de maíz semillero de 2,7 ha de superficie, en la comuna de San Clemente, región del Maule, Chile. | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Acequia principal en riego por surco. | 7 |
| Figura 2. Sistema de riego por mangas. | 8 |
| Figura 3. Distribución de las sub-parcelas de muestreo. | 9 |
| Figura 4. Salidas de las mangas hacia los surcos. | 11 |
| Figura 5. Esquema referencial del funcionamiento del tambor regulador. | 11 |
| Figura 6. Mediciones de los componentes de rendimiento. | 14 |
| Figura 7. (a) valores diarios de evapotranspiración real (ET_{real}), evapotranspiración de referencia (ET_r) y precipitaciones (P_p), (b) Temperaturas ($^{\circ}C$), (c) humedad relativa (HR), (d) velocidad del viento (U_2), y (e) radiación solar (R_s) para la temporada 2017-2018 en el cultivo de maíz semillero (San Clemente, región del Maule, Chile). | 16 |
| Figura 8. (a) niveles de micronutrientes (ppm) y (b) niveles de macronutrientes de las plantas de maíz en los distintos tratamientos. Mn, Zn, Cu y Fe corresponden a los micronutrientes manganeso, zinc, cobre, hierro y N dumas, N kjeldahl, P, K, Ca, Mg, indican los macronutrientes Nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio. | 17 |
| Figura 9. (a) valores de humedad de suelo tratamiento riego por surco, (b) valores de humedad de suelo tratamiento riego por manga agricultor, (c) valores de humedad de suelo tratamiento riego por manga CITRA, durante la temporada (2017-2018) en maíz semillero (San Clemente, región del Maule, Chile). | 19 |
| Figura 10. (a) Caudal de agua aplicada por riego (m^3/ha) y (b) caudal aplicado acumulado durante la temporada de riego (2017-2018), en los distintos tratamientos de maíz semillero (San Clemente, región del Maule, Chile). | 20 |
| Figura 11. Gráfico de caja y bigotes del promedio de la altura de las plantas (cm), en los diferentes tratamientos (ilustrados en el grafico como T1: surco, T2: M sin P (manga sin programación), T3: M con P (manga con programación)) en el cultivo de maíz semillero durante la temporada 2017-2018 (San Clemente, región del Maule, Chile). | 23 |

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la producción de maíz (*Zea mays* L.) es de gran importancia, ya sea como alimento para la población, forraje para el ganado o como elemento base en la fabricación de variados productos industriales (FAO, 2001). En los últimos cinco años la producción mundial de cereales ha ido en aumento y en la actualidad el maíz ha pasado a ser el cereal más producido alcanzando 1.308,7 millones de toneladas, posicionándose incluso por sobre la producción de trigo y de arroz (735,3 millones de toneladas y 491,6 millones de toneladas, respectivamente) (FAO, 2017).

En Chile, durante la temporada agrícola 2015-2016 la intención de siembra de maíz alcanzó las 101.740 hectárea (ha), considerando aquellas sembradas para consumo humano, consumo animal y para reproducción de semillas (ODEPA, 2016). La superficie sembrada de maíz se encuentra principalmente distribuida en las regiones de O'Higgins (46.206 ha), Maule (28.621 ha) y Bio-Bio (18.624 ha). Este cultivo es de gran relevancia a nivel nacional, ya que es el segundo cultivo anual con mayor cantidad de superficie establecida (ODEPA, 2016). Además, es el cultivo con mayor superficie certificada para la exportación de semillas del país, representando el 49% del total de las especies que se exportan (SAG, 2016).

Sin embargo, la escasez hídrica es una limitación importante en la agricultura de muchos lugares del mundo. En ocasiones se habla de dos tipos de escases, "la escasez física" que es aquella cuando el agua no es suficiente para cubrir todas las demandas del medio ambiente y "la escasez económica" que se refiere principalmente a las inversiones en diferentes tecnologías de riego que se deberían hacer para poder suplir la totalidad de la superficie agrícola con la utilización de la menor cantidad de agua posible (FAO, 2013).

El maíz es un cultivo muy sensible a las bajas de humedad de suelo durante su desarrollo (Ortas, 2008). Las necesidades hídricas de este cultivo varían a medida que la planta se va desarrollando. La mayoría de las veces en zonas que fueron regadas antes de siembra, la humedad del suelo es suficiente para que la planta llegue en buenas condiciones a la aporca, período donde se aplica el primer riego y donde el cultivo empieza a aumentar las necesidades hídricas. Esto hasta llegar al periodo de floración, periodo crítico, ya que comienzan a formarse las mazorcas y se define el rendimiento potencial de cada planta (Cropcheck, 2011).

Debido a lo importante que es el agua para la producción de maíz y a las necesidades que el cultivo requiere para su desarrollo, es importante planificar los volúmenes de agua requerido en forma oportuna según los requerimientos de cada periodo fenológico. La programación del riego permite dar respuesta a las preguntas de ¿Cuándo regar?, ¿Cuánto regar? y ¿Cómo regar?, las que están condicionadas por las características del suelo, clima y cultivo. Conocer con detalle cada una de estas características nos permitirá disminuir considerablemente la cantidad de agua aplicada, además tendremos la posibilidad de incorporar más superficie al sistema de riego, ya que tendremos mejor dominio del recurso hídrico (CITRA, 2009).

En Chile la superficie de maíz regada por surco bordea el 70% de la superficie total de este cultivo (INIA, 2015). Riego muy ineficiente, lo que es asociado a una mala distribución, cuantificación y utilización del recurso hídrico. Motivos que por medio un ensayo comparativo del CITRA (Centro De Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología) de la universidad de Talca, se busca solucionar con la utilización de simples tecnologías como lo son las mangas cabeceras, la cual acompañada de programaciones de riego permitiría producir un gran impacto en los rendimientos y en la utilización del recurso hídrico.

1.1 Hipótesis

La programación de los riegos usando herramientas simples como mangas plásticas para riego, reduce la cantidad de agua aplicada en el cultivo de maíz semillero. Además de mejorar la conducción, tiempos y frecuencias de riego sin afectar los rendimientos.

1.2 Objetivo general

Determinar los efectos de la implementación diferenciada de riego por manga y riego tradicional en el rendimiento y en la productividad del agua en maíz semillero ubicado en la comuna de San Clemente, región del Maule, Chile.

1.3 Objetivos específicos

- Evaluar los componentes de rendimientos del maíz según cada ensayo de riego (T1, T2 y T3).
- Analizar la eficiencia del uso del agua en maíz.
- Obtener los costos operacionales, económicos y sociales de la implementación de un riego por manga plásticas.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Importancia económica del maíz

Las especies agrícolas más cultivadas a nivel mundial son principalmente cereales, considerados alimento esencial desde el punto de vista del aporte calórico a la dieta humana y animal. Dentro de este grupo de cereales los mayormente distribuidos son el trigo, maíz y arroz (FAO, 2017).

La producción de maíz es relevante por la gran cantidad de superficie sembrada y por la gran variedad de usos secundarios que ofrece el cultivo. En los últimos 5 años, la producción mundial ha aumentado en un 3.1%, pasando de 1308.2 a 1349.4 millones de toneladas producidas, en un intento por suplir los requerimientos de una población mundial en expansión y con mayor demanda de alimentos (FAO, 2017).

En Chile, el maíz es cultivado para consumo humano, animal y para la multiplicación de semillas transgénicas, posicionándose como el segundo cultivo anual con mayor superficie establecida a escala nacional (ODEPA, 2016). La mayor parte de la superficie de maíz en el país es utilizada para la producción de semillas, siendo la totalidad certificada para exportación, representando el 49% de las exportaciones, lo que es una ventaja debido a que se produce en contra estación y también por ser un país libre de plagas que puedan afectar al cultivo (SAG, 2016).

Las regiones de O'Higgins, Maule y Bio-Bio concentran la mayor cantidad de superficie sembrada (91.8% del total nacional), mientras que el 8.2% restante se encuentra distribuido en regiones del norte y sur del país. En la temporada 2015-2016 en total se sembraron 101.740 ha, divididas en 46.206 ha en la región de O'Higgins, 28.621 ha en el Maule y 18.624 ha en el Bio-Bio. Lo anterior pone en evidencia que la zona central del país posee condiciones edafológicas y climáticas apropiadas para la producción del cultivo (ODEPA, 2016).

El maíz es un cultivo de rápido crecimiento y de procesos fisiológicos muy marcados lo que lo hace muy sensible a las condiciones de clima y suelo (Pedrol et al, 2006). Esto explica en cierto modo por qué en la zona centro del país se encuentra la mayoría de la superficie cultivada. O'Higgins, Maule y Bio-Bio son regiones que poseen amplias oscilaciones de temperaturas a lo largo del desarrollo del cultivo, ejemplo de ellos son noches frías y días con temperaturas cálidas. Junto a esto, mucha de la superficie cuenta con suelos de buen drenaje, buena profundidad y buena aireación lo que es ideal para obtener buenos rendimientos en maíz.

2.2 Factores limitantes de la producción de maíz

Para la producción de maíz, al igual que para la producción de cualquier otro cultivo, es importante considerar factores como las semillas, las plagas, la fertilización, el clima y el tipo de suelo donde se establecerá el cultivo. (FAO, 1997).

Las características del suelo influyen de una u otra forma en el desarrollo de los cultivos. Factores como textura, cantidad de materia orgánica, profundidad y volumen de piedras, influyen en el desarrollo de las raíces de las plantas y en la disponibilidad de agua que estas tendrán. Esto último es fundamental para un buen desarrollo de las plantas ya que, si el suelo tiene buena retención de humedad, éstas alcanzarán sus potenciales hídricos ideales y podrán maximizar sus rendimientos (Sánchez De P., 2012).

El maíz es un cultivo muy sensible a la falta de humedad en su desarrollo (Ortas, 2008). Independiente del híbrido que sea, las necesidades hídricas van variando a medida que el cultivo se va desarrollando, mayoritariamente empieza a aumentar el requerimiento hídrico a partir de la mitad del desarrollo vegetativo, ya que durante la siembra y todo el periodo de emergencia la planta sobrevive con la humedad que se encuentra en el suelo. Generalmente el primer riego se realiza luego de la aporca y desde ahí los requerimientos hídricos de la especie tienden a aumentar (Cropcheck, 2011).

Cuando la planta tiene alrededor de 8 hojas completamente formadas, empieza la formación de las mazorcas, etapa donde se define el rendimiento potencial de la planta. Por lo tanto, el cultivo debe estar 15 días antes y hasta el término de la formación del grano, en óptimas condiciones de humedad de suelo. Dicho periodo fenológico, se refiere en otras palabras a la fase de floración, fase que actúa la polinización y fecundación, factores que producen efecto directo en el rendimiento (Cropcheck, 2011).

2.3 Requerimientos hídricos

Actualmente cerca del 70% de la superficie de maíz en Chile presenta riego por surco, método de riego que presenta un 30% de eficiencia, asociado a una mala distribución, cuantificación y utilización del recurso hídrico aplicado (INIA, 2015). Dichos conceptos suelen ser fundamentales

para tener un cultivo con alto rendimiento, buena calidad y rentabilidad, ya que generalmente al aumentar la eficiencia disminuyen los costos de producción (INIA, 2015).

Hoy, Chile está siendo afectado por un gran periodo de sequía. Se dice que los últimos 6 años destacan como el período seco de mayor duración y extensión territorial desde mediados del siglo pasado. Además, a la escases hídrica, se le asocia altas temperaturas lo que aumentan la pérdida de agua por evaporación, agravando el déficit hídrico (CR2, 2015).

Según datos de la Dirección Meteorológica de Chile, en la actualidad se registran alrededor de 10 días menos de lluvia que hace 100 años. En la región del Maule se registran 540 mm de agua caída durante el 2016, lo que según la tendencia para el año 2030, disminuirá en 131 mm (ODEPA, 2013).

El maíz híbrido es un cultivo de alto requerimiento hídrico, consume entre los 500 y los 600 mm por temporada (Faiguenbaum, 2003). Cantidad que se logra estimar desarrollando programaciones de riego, en donde se puede conocer la cantidad de agua que necesita el cultivo, para saber cuánto aplicar y para poder utilizar de forma más eficiente el recurso que cada vez es más escaso.

2.3.1 Estimación de la evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración de los cultivos (ET_{real}), representa el agua transferida a la atmosfera por evaporación del suelo (E) y transpiración de las plantas, por lo que la determinación precisa de la ET_{real} de cultivos es esencial para el diseño de sistemas de riego y para la programación de los riegos (Oliveira et al., 2009).

La determinación de la evapotranspiración es uno de los factores más relevantes a determinar para la programación del riego y la mala determinación del consumo hídrico o evapotranspiración pone en riesgo aquellas regiones en donde la falta de agua ya es demasiada (Oliveira et al., 2009).

Una forma de estimación que se usa generalmente según el boletín FAO 56 (ecuación 1) publicado el año 2006, es por medio de la ecuación:

$$ET_{real} = ET_r \times K_c \quad (1)$$

donde, ET_{real} es la evapotranspiración real (mm/días); ET_r es la evapotranspiración de referencia (mm/días); K_c es el coeficiente de cultivo (adimensional).

La ET_r indica la demanda atmosférica del cultivo de referencia y el K_c relaciona el estado fenológico del cultivo con la demanda hídrica. Cabe destacar que una de las principales desventajas de esta metodología se enfoca en el K_c , ya que se están utilizando valores empíricos que no representan las condiciones del lugar donde se encuentra el cultivo, lo que por cierto lleva a tener valores herrados con respecto a la estimación de la ET_{real} que se pretende obtener (Ortega-Farías et al, 2009).

La obtención de la ET_r (ecuación 2) es mediante datos obtenidos de una estación meteorológica cercana al lugar donde se encuentra establecido el cultivo. Datos que permiten estimar la ET_r mediante el modelo Penman-Monteith (FAO, 2006).

$$ET_r = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

donde, ET_r es la evapotranspiración de referencia horaria (mm/días); T es la temperatura media del aire cada hora ($^{\circ}C$); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa/^{\circ}C$); R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2/día$) G es el flujo del calor del suelo ($MJ/m^2/días$); γ es la constante psicrométrica ($kPa/^{\circ}C$); u_2 es la velocidad del viento a 2 m de altura (m/s); e_s es la presión de vapor de saturación (kPa) y e_a es la presión real de vapor (kPa)

2.4 Incorporación de tecnologías en la programación del riego por surcos

Actualmente el riego gravitacional o riego por surco es el método más utilizado en el país, usándose en aproximadamente el 70% de la superficie total de riego (Antúnez *et al.*, 2015). Según el censo agropecuario 2007, 6.486 ha de las cultivables en Chile son regadas por surco.

El recurso hídrico cada vez es más escaso, esto lleva directa relación con el uso ineficiente del agua y la elevada contaminación de aguas subterráneas principalmente por lixivaciones de nitrógeno. En este sentido es de suma importancia incrementar la eficiencia en el riego por surcos, ya que es el más utilizado, disminuyendo pérdidas por percolación profunda y escurrimiento superficial (INIA, 2015). Así mismo, es importante aumentar la uniformidad de riego, asegurando una disponibilidad homogénea de agua para las plantas en todo el campo regado (INIA, 2015).

El riego por surco consiste en la utilización de pequeños canales o surcos paralelos a la línea de plantación, la separación y largo de surco dependerán del tipo de suelo y cultivo. El agua se vierte en el cabezal del campo y fluye en sentido de la pendiente de la superficie infiltrándose a medida que avanza. Por lo general para este riego se utilizan altos caudales (figura 1), lo que provoca mala distribución del agua y altas pérdida por infiltración no deseadas y escorrentía, generando un 30% de eficiencia en su uso (INIA, 2015).



Figura 1. Acequia principal en riego por surco.

- **Ventajas del sistema de riego por surco tradicional.**
 - Bajo costo de implementación.
 - Fácil utilización, ya que no necesita personal especializado para trabajarlo.

- **Desventajas del sistema de riego por surco tradicional.**
 - Infiltración del agua en zonas no deseadas.
 - Pendiente del suelo no puede ser mayor al 2%.
 - Alto caudal lo que genera arrastre de partículas del suelo (erosión).
 - Distribución no homogénea del agua a los distintos surcos.

El riego por mangas es una opción de bajo costo y de mayor eficiencia para mejorar el riego por surco tradicional. En este Sistema el agua es conducida por mangas de plástico, las cuales poseen válvulas con compuertas instaladas en cada uno de los surcos de riego (figura 2). Esta válvula tiene como función regular la distribución homogénea del agua para todos los surcos. Además, el sistema debe contar con un tambor regulador de presión donde salen las mangas cabeceras para evitar el daño a la manga por un aumento de presión si existiese una pendiente a favor en el terreno (CITRA, 2014).



Figura 2. Sistema de riego por mangas.

➤ **Ventajas del sistema de riego con mangas.**

- Bajo costo de implementación.
- Control de caudales.
- Distribución equitativa del agua a todos los surcos de riego.
- Mejora la infiltración.
- Se puede utilizar como canal de conducción, hasta llegar a las mangas cabeceras.
- Se puede mecanizar el riego.

➤ **Desventajas del sistema de riego con mangas.**

- Para el establecimiento del riego, se requiere de personal especializado.
- La superficie puede tener máximo 2% de pendiente para lograr un buen funcionamiento.
- Terminado de temporada se debe recoger para evitar daños mecánicos.

El sistema de riego con mangas es capaz de aumentar la eficiencia del riego ya que, se puede controlar los tiempos de riego y con esto se controla el escurrimiento superficial, también permite mejorar el control de caudales, lo que permite un mejor uso del agua y en general con esto se puede lograr hacer más eficientes los tiempos de riego del regador, teniendo en cuenta una gran disminución de los volúmenes de agua aplicados.

Dichas virtudes, son contrarrestadas por un monitoreo de la humedad de suelo con mayor frecuencia, además de contar con personal capacitado para la instalación y mantención del sistema (INIA, 2015).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del ensayo

El ensayo se realizó en 8.1 ha de maíz semillero ubicado en el Fundo “La Hormiga”, sector San Jorge Norte, Comuna de San Clemente, Región del Maule, Chile (35°31'77" S; 71°28',37" O; 230 m.s.n.m.), durante la temporada agrícola 2017-2018. Para ello se montaron tres unidades demostrativas (de ahora en adelante, tratamientos “T”) las que consistieron en tres formas de manejo del riego (figura 3).

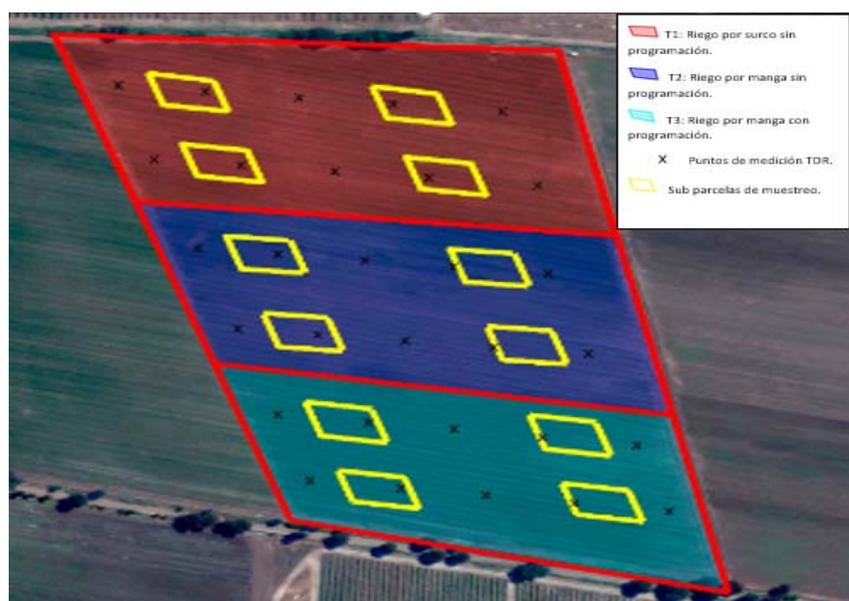


Figura 3. Distribución de las sub-parcelas de muestreo.

El ensayo estuvo constituido con tres tratamientos de riego, ordenados de la siguiente forma:

- **T1:** Riego por surco tradicional, regado según criterio del agricultor. →2,7 ha.
- **T2:** Riego por manga sin programación, regado según criterio del agricultor. →2,7 ha.
- **T3:** Riego por manga con programación, regado según programaciones del riego. →2,7 ha.

Los sectores fueron sembrados el día 8 de noviembre 2017 con un marco de 75 cm entre hilera y 12,5 cm sobre hilera y con una disposición de 2 hileras de machos cada 4 hileras de hembra. El único factor a manejar fue la técnica del riego (surco/manga) y la programación del riego (con/sin), dejando todos los demás factores productivos en idénticas condiciones, para no alterar los posibles efectos a medir.

3.2 Desarrollo del ensayo

3.2.1 Estudio en terreno

Se realizó un análisis de suelo para identificar las condiciones físico-hídricas del terreno. El análisis indicó que el suelo corresponde a la serie Lurín de textura arcillosa, sedimentario de origen fluvio-glaciario, con un horizonte de lavado formado por gravas redondeadas y angulares con matriz arcillosa en profundidad, es un suelo plano, de permeabilidad muy lenta y de drenaje pobre (CIREN-CORFO, 1997). Los valores de textura, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) y las características del suelo son presentados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características físico-hídricas del suelo en Fundo “La Hormiga”, San Clemente, Chile.

| Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | CC (%) | PMP (%) | Textura |
|------------------|-----------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|
| 19.4 | 42.0 | 38.6 | 37.0 | 14.0 | Arcillosa |

En el estadio fenológico de llenado de grano se realizó un análisis foliar para identificar las condiciones nutricionales del cultivo. El análisis de tejido consistió en la recolección de al menos 100 hojas banderas, lo más representativas posibles en cada tratamiento, según la metodología del Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos (CTSyC) de la Universidad de Talca. El análisis sirvió para corroborar que no hubo efecto nutricional que impactara al rendimiento, sino que solo las variaciones fueran a causa de la forma y tipo de riego.

Para elaborar una programación del riego (frecuencia y tiempo) en el tratamiento T3, se realizó una prueba de infiltración del suelo por medio de aforadores tipo *Washington state college* (WSC). Donde se utilizaron tres surcos con agua, en el surco central se midió el caudal, tanto el que entra como el que sale, los resultados de la toma de datos se pueden ajustar a un modelo matemático a partir del cual queda registrada la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada del predio que además me permite estimar cuanto se demora el agua en el surco y así poder determinar el 25% más de ese tiempo para que la infiltración sea homogénea (CITRA, 2009).

Los resultados de la programación se aplicaron solamente al tratamiento T3 con una recomendación por largo de surco equivalente a 6 horas de riego.

3.2.2 instalación de equipamiento en terreno

Se instaló la manga en el cabezal de riego con una toma de agua y luego se abrieron agujeros de 5,08 cm de diámetro espaciados a 75 cm, equivalente a la distancia de los surcos. Ahí se instalaron las válvulas de riego con tapa reguladora de descarga por donde se distribuyó el agua hacia los surcos donde se empleó una válvula para dos surcos (figura 4). Dado que el tipo de suelo presentó buena retención del agua, se realizó el procedimiento en T2 y T3.



Figura 4. Salidas de las mangas hacia los surcos.

Generalmente se usa un tambor regulador (figura 5), para controlar la presión al interior de la manga, el cual se ubica entre el inicio de la manga y el final de la unión del sistema de regadío con el canal. En el caso del ensayo, no fue necesario, dado que la pendiente favoreció el flujo del agua y la ubicación de los tratamientos fue paralela y contigua al canal de regadío, por lo que la manga que cubrió los tratamientos T2 y T3 se instaló directamente desde la captación de agua del canal.

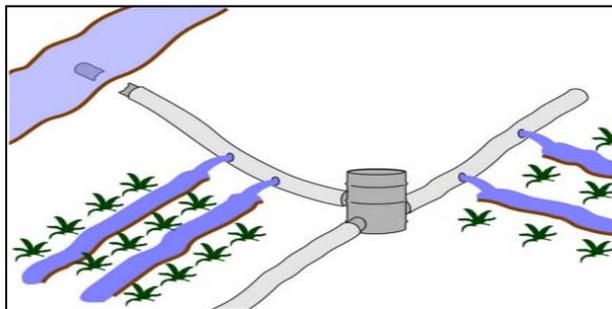


Figura 5. Esquema referencial del funcionamiento del tambor regulador.

3.2.3 Programación del riego

Se utilizaron datos climáticos desde una estación meteorológica Automática (EMA) ubicada a 5,6 Km del ensayo, en el sector "Mariposas" ($35^{\circ}31'47,63''$ S; $71^{\circ}25'29,69''$ O, 245 m.s.n.m), los que fueron modelados con la ecuación de Penman-Monteith (ecuación 2) obteniéndose la ETr en forma diaria (FAO, 2006).

La relación que tiene el suelo en la efectividad de los riegos es muy importante y para establecer una buena programación se obtuvo mediante análisis físicos hídricos la cantidad de arena, limo y arcilla del suelo, y la consecuente capacidad de campo (CC), y punto de marchitez permanente (PMP), (Cuadro 1).

Para saber los días transcurridos entre cada riego, se realizó la estimación de la frecuencia de riego a través de la siguiente ecuación:

$$FR = \frac{Ln}{ET_{real}} \quad (3)$$

donde, FR es la frecuencia de riego (días), Ln es la lámina neta (mm) y ET_{real} es evapotranspiración real o de cultivo (mm/días).

La lámina neta corresponde a la cantidad de agua que es capaz de almacenar un suelo de cierta profundidad la cual se calculó con la ecuación:

$$Ln = Ce \times Cr \quad (4)$$

donde Ln corresponde a la lámina neta (mm), Ce es la capacidad de estanque (mm) y Cr el criterio de riego (Fracción), que para la totalidad del ensayo fue definido al 50%.

La capacidad de estanque (Ce) se estimó por

$$Ce = \frac{(CC-PMP)}{100} \times Da \times Ps \quad (5)$$

donde, CC corresponde al contenido volumétrico de agua en el suelo a capacidad de campo (%), PMP es el contenido volumétrico de agua en el suelo a punto de marchitez permanente (%) Da es la densidad del suelo (gr/cm) y Ps es la profundidad efectiva del suelo (cm).

Para la estimación de la evapotranspiración real (ET_{real}), indicadora del agua que consume el cultivo entre dos riegos consecutivos se utilizó la ecuación 1 multiplicado por un coeficiente de cultivo (Kc) que combina cuatro características principales del cultivo: altura, reflectancia, resistencia a la transferencia de agua con el ambiente y evaporación del cultivo. Características que a medida que se desarrolla el cultivo van cambiando. El cuadro 2 resume los Kc ocupados para el ensayo.

Cuadro 2. Coeficientes de cultivo para maíz, para todo su desarrollo.

| Kc | Fase de desarrollo del cultivo |
|-----------|---------------------------------------|
| 0.4 | Inicial |
| 0.8 | Desarrollo |
| 1.15 | Media |
| 0.70 | maduración |

Fuente: FAO 56 (2006).

3.2.4 Seguimiento y control en terreno

Se monitoreo la humedad del suelo semanalmente con un TDR (*Time Domain Reflectometry*). El equipo funciona con dos varillas de acero inoxidable enterradas en el suelo por donde se guían los impulsos electromagnéticos al aparato TDR midiendo este, el tiempo que demora en llegar la información, desde el inicio hasta el final de la varilla de longitud conocida. Cada tratamiento contó con 10 puntos de medición con varillas de 30 cm, que cubrían el largo total de las raíces (CITRA, 2009).

En cada riego se realizó un aforo a caudales para determinar el volumen de agua aplicado en cada tratamiento. Estas mediciones se realizaron con aforadores WSC los que se instalaban en la entrada de los surcos y se tomó el tiempo para determinar los metros cúbicos por segundo, luego se calculó lo que se ocupaba en la totalidad del riego multiplicándolos por el tiempo que tardó todo el ensayo en regarse. Finalmente se sumó los riegos de la temporada y se obtuvo la cantidad de agua utilizada por el cultivo.

3.3 Evaluación y análisis de los resultados

Se establecieron 4 sub-parcelas de muestreo por tratamiento, 12 en total en el ensayo. Cada sub-parcela midió 5 m de largo por 3 m de ancho, (4 hileras hembra, lo machos se descartan) donde se midieron y cosecharon solo las dos hileras centrales para eliminar el efecto borde de cada sub-parcela, obteniéndose dos bolsas cosechadas por cada sub-parcela (una bolsa de la hilera norte y otra de la hilera sur), en total 8 bolsas por cada tratamiento, generando así un total de 24 repeticiones para determinar los componentes del rendimiento. Además, en cada una de las sub-parcelas se midió el número de plantas por metro lineal y altura de plantas.

En laboratorio se realizaron mediciones para la estimación del rendimiento como el número de mazorcas por bolsa, peso de corontas, promedio del número de granos en una mazorca, peso de los granos limpios y el número de granos en 100 gr.

El diseño experimental del ensayo, corresponde a un diseño de bloques en grupos, separados por el tipo de riego. Debido a la distribución territorial del ensayo y la posición en la que se ubicaba el canal de riego (lateral al ensayo), El sitio en estudio se segmentó en 3 bloques (en este caso llamados "tratamientos de riego") con cuatro repeticiones cada uno (estadísticamente denominadas "pseudo-replicación"). El bloque 1 se rego por surco tradicional, bloque 2 se rego por mango sin programación y el bloque 3 se rego por manga con programación (Figura 3). Las pseudo-replicaciones fueron distribuidas espacialmente en cada bloque para incorporar la variabilidad espacial de suelo, plantas y distribución de los riegos en cada bloque estudiado.



Figura 6. Mediciones de los componentes de rendimiento.

El análisis estadístico consistió en pruebas de diferencias de medias de los componentes del rendimiento. Para ello se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION donde mediante un modelo lineal generalizado (GMLE) y análisis de varianza se compararon las medias de cada componente a un nivel de confianza del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Condiciones climáticas

Un mes antes de iniciar el ensayo se registraron 73 mm de lluvia acumulados, Los cuales no tuvieron efecto en la programación de los riegos, ya que se produjeron antes del 8 de noviembre, fecha de siembra (Figura 7).

La demanda bruta del cultivo (ETc) durante la temporada fue de 471,86 mm, siendo el día 28 de diciembre el que registró la mayor demanda diaria con 7,83 mm (figura 7a), mismo día en que las plantas se encontraban emitiendo polen. El promedio de las temperaturas fue de 21,9°C con una máxima de 30,6°C y una mínima de 14,5°C (figura 7b). lo que pudo afectar en los rendimientos, ya que si las temperaturas se prolongan por más de 2 horas entre 30 a 35 °C el polen puede ser destruido (Castillo & Sentís, 2001).

En la figura 7c se observa que la humedad relativa (HR) presentó un 69,14% promedio, durante la temporada, con máximas de 100% y mínimas de 20,05% los días 19 y 27 de diciembre, mismos días en que el porcentaje de variación a lo largo del día fue mayor llegando a 75,1%

La velocidad del viento (figura 7d) durante la temporada registro un promedio de 1,26 m/s, presentando el valor más alto el día 17 de noviembre, con 2,83 m/s. Durante los meses de enero y febrero las variaciones en la velocidad del viento disminuyeron, registrándose el día 21 de enero, una velocidad de 0,65 m/s.

Según Díaz *et al.*, (2013) la radiación solar al interactuar con otros factores como la temperatura y el estado hídrico tienen gran influencia en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Durante el mes de noviembre y diciembre se presentó la mayor radiación solar de la temporada, alcanzado un valor máximo de 33,4 Mj/m²/días el día 23 de diciembre. Mientras que los últimos días de diciembre hasta el final de la temporada específicamente el día 21 de enero, estuvo nublado, por lo que disminuyó a un valor de 8,6 Mj/m²/días, pero de igual forma el promedio de radiación solar durante toda la temporada fue de 25,19 Mj/m²/días (figura 7e).

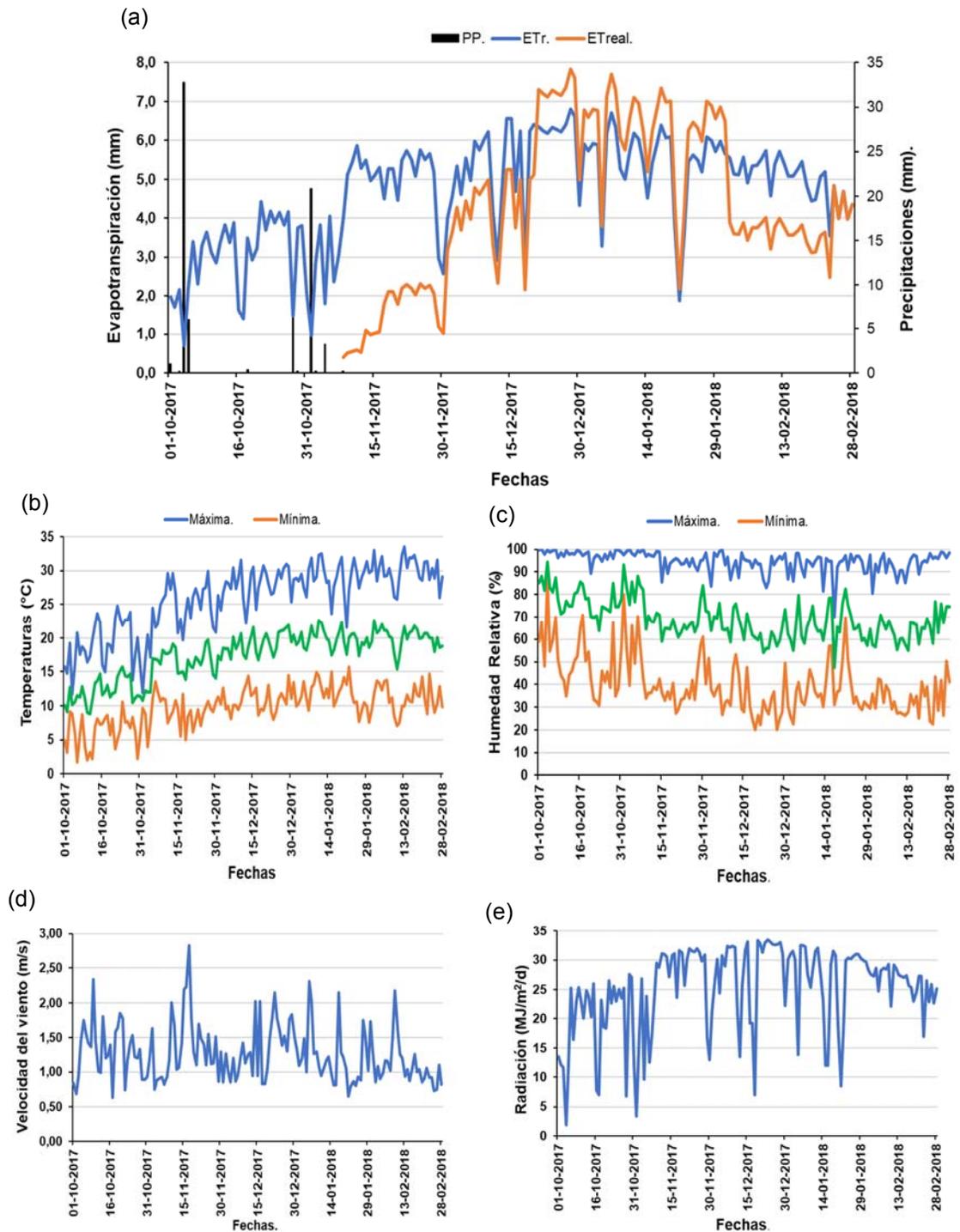


Figura 7. (a) valores diarios de evapotranspiración real (ET_{real}), evapotranspiración de referencia (ET_r) y precipitaciones (Pp), (b) Temperaturas ($^{\circ}C$), (c) humedad relativa (HR), (d) velocidad del viento (U_2), y (e) radiación solar (R_s) para la temporada 2017-2018 en el cultivo de maíz semillero (San Clemente, región del Maule, Chile).

4.2 Niveles de fertilización foliar

La figura 8 presenta los niveles nutricionales en cada tratamiento: T1 azul, T2 café, T3 plomo. Además del rango óptimo que debería tener (color amarillo) tanto de macro y micronutrientes para el cultivo de maíz.

En los micronutrientes (figura 8a) el Manganeseo (Mn) en los tres tratamientos se encontró por sobre el rango óptimo, al igual que el hierro (Fe) en el T2, no así los demás micronutrientes, como el zinc (Zn) el cobre (Cu) y el hierro (Fe) en T1 y T3, que se encontraron dentro del rango óptimo. En cuanto a los macronutrientes (Figura 8b) como el nitrógeno (N Dumas y N Kjeldahl) y el potasio (K) están en un porcentaje menor al rango óptimo, mientras que el fósforo (P) y el calcio (Ca) en T2 y T3 se encontraban en el rango óptimo. El magnesio (Mg) fue el único macronutriente que se presentó en un porcentaje por sobre el rango óptimo.

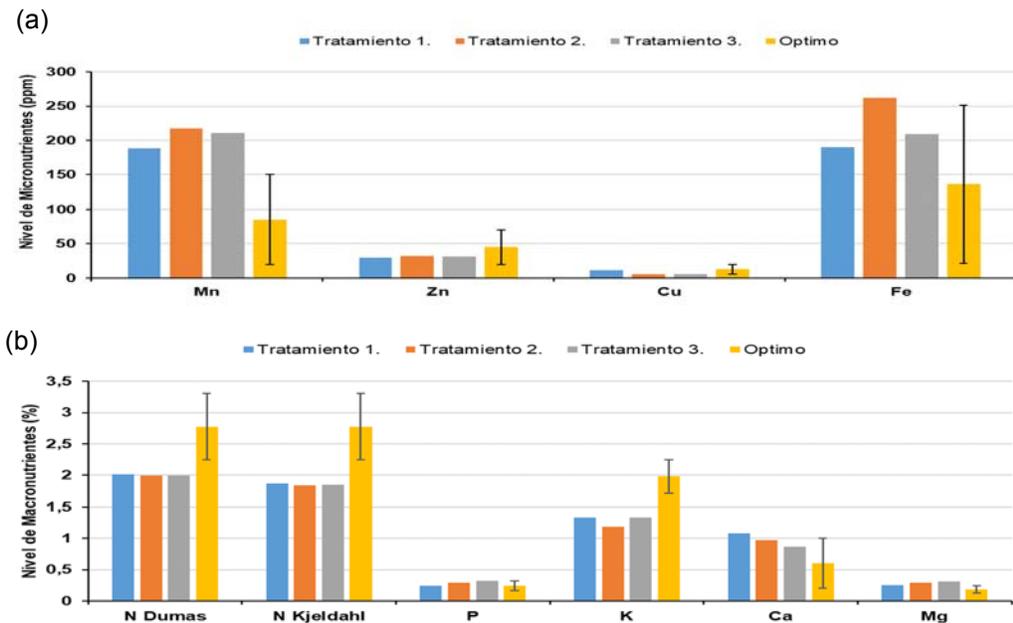


Figura 8. (a) niveles de micronutrientes (ppm) y (b) niveles de macronutrientes de las plantas de maíz en los distintos tratamientos. Mn, Zn, Cu y Fe corresponden a los micronutrientes manganeso, zinc, cobre, hierro y N dumas, N kjeldahl, P, K, Ca, Mg, indican los macronutrientes Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Los elementos nutritivos son indispensables para el desarrollo de las plantas, en esta ocasión el análisis foliar se enfocó en nueve de ellos: manganeso (Mn), Zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Los macronutrientes N y K se encontraron bajo los niveles mínimos ($N < 2,25\%$ y $K < 1,71\%$). En tanto, el N es uno de los elementos nutricionales más importantes para el cultivo del maíz y se relaciona directamente con la producción de materia seca, con el rendimiento del grano,

además de la calidad nutricional del grano y su concentración proteica (Hirzel, 2011). La falta de nitrógeno, como fue en esta ocasión en todos los tratamientos, se reflejó en apariciones cloróticas en las hojas más viejas, lo que se traduce en una menor tasa de crecimiento y expansión foliar, reduciendo la captación de la radiación fotosintéticamente activa (Torres, 2002). Por otro lado, el K es importante para la regulación de la apertura estomática y para mantener el potencial hídrico de la planta, también participa en el transporte y acumulación de azúcares producidos (Hirzel, 2011). T2 presentó menor cantidad de K en comparación. siendo además el tratamiento de menor rendimiento, con 2.241 kg/ha, lo que pudo ser influenciado por la baja en K Según Hirzel (2011) el K es importante en la mantención del potencial hídrico y en la acumulación de azúcares, actividades de la planta importante para la obtención de su rendimiento.

Hirzel (2011) también menciona que a medida que las plantas de maíz aumentan su edad, aumentan la concentración de Mg y Ca, por otro lado, indica que el Mg principalmente contribuye a regular pH en la célula y el balance de cationes y aniones, lo que en esta ocasión favorece el periodo de floración (Zamudio *et al.*, 2015), ya que el análisis demostró que los tres tratamientos se encuentran por sobre el rango ideal.

Los demás micronutrientes como el Fe, CU y el Mn están involucrados en varios procesos relacionados con la fotosíntesis, por lo que tiene directa relación con el rendimiento de los cultivos. (Hirzel, 2011). Por tanto, como los micronutrientes se encuentran por sobre del rango óptimo, no se genera influencia alguna de estos micronutrientes en los rendimientos finales. No obstante, el excesivo uso de fertilizantes además de causar problemas ambientales y ecológicos puede afectar negativamente la absorción de algunos micros y macronutrientes como el Zn, Ca y el K (Zamudio *et al.*, 2015).

A pesar que el análisis anterior fue realizado después de aplicar urea al cultivo, el N en las plantas de los tres tratamientos siguió por debajo del rango, efecto asociado a pérdidas potenciales al medio ambiente por medios de procesos, como de volatilización de NH_3 , NO_3^- , lixiviación, desnitrificación y escurrimiento, también puede ocurrir que el N se encuentre inmovilizado por microorganismos incorporando N orgánico en compuestos insolubles lo que tiene como efecto que no se encuentre disponible para las plantas, problema que se agrava por la baja eficiencia de los riego (Sifuentes *et al.*, 2015). Eficiencia que fue muy diferente entre los tratamientos (T1 con 25% de eficiencia, T2 con 40% de eficiencia, T3 con 64% de eficiencia), por lo que las diferencias potenciales de los rendimientos, son asociadas a las distintas formas de riego.

4.3 Caudales aplicados

Durante la temporada se realizaron 9 riegos en T1 y T2 mientras que T3 obtuvo un riego menos, solo por efecto de programación del riego. De la totalidad de los riegos, el primero se realizó antes de siembra para homogenizar la humedad, la cual fue monitoreada en los tres tratamientos durante toda la temporada (figura 9), sin embargo esta información solo fue utilizada en el T3 para la programación de los riegos (figura 9c), ya que al saber el nivel de humedad en el suelo, se podía determinar qué tan cerca se encontraba del criterio de riego y así tomar la decisión de regar en el momento adecuado sin someter a la planta a ningún tipo de estrés.

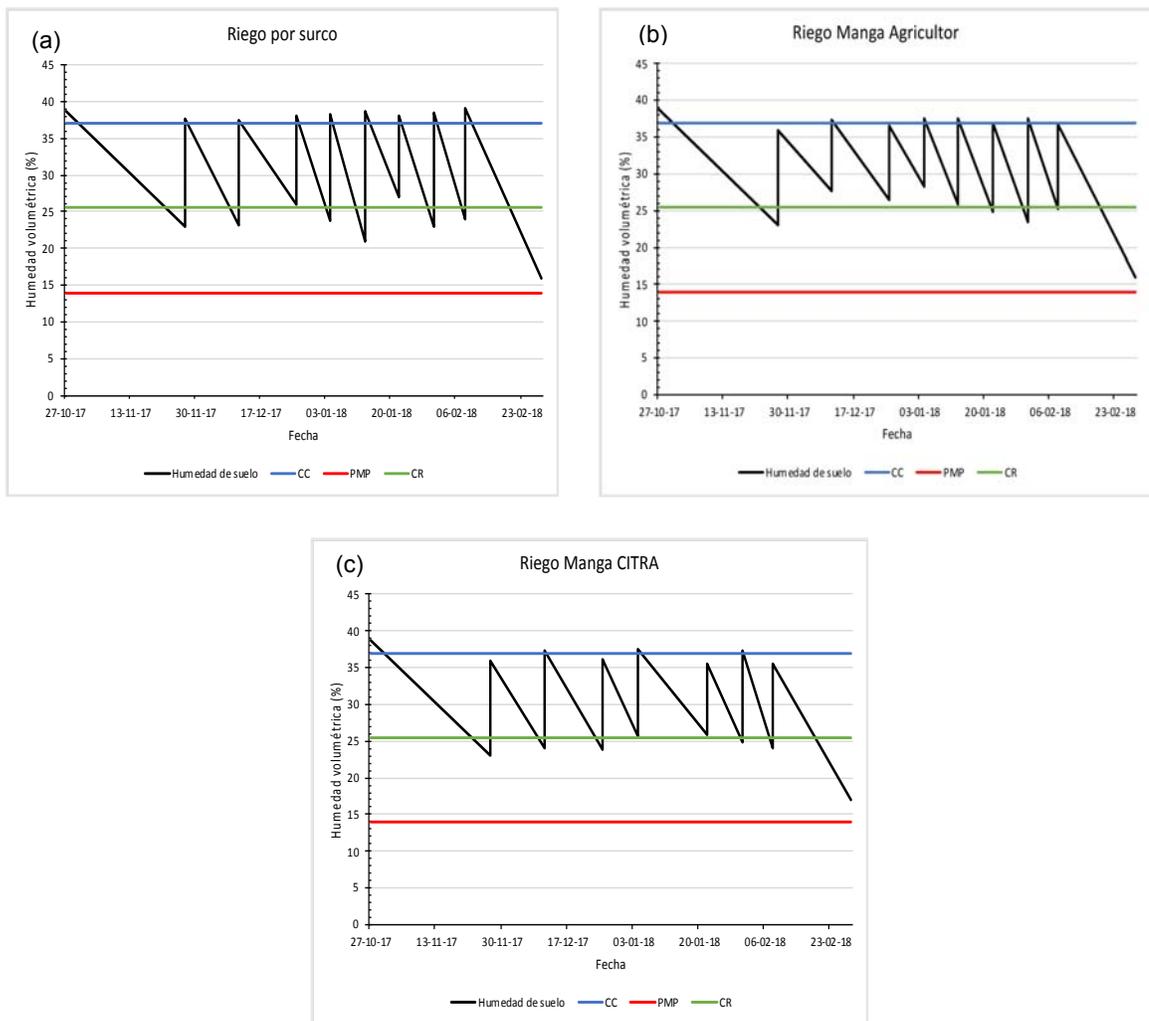


Figura 9. (a) valores de humedad de suelo tratamiento riego por surco, (b) valores de humedad de suelo tratamiento riego por manga agricultor, (c) valores de humedad de suelo tratamiento riego por manga CITRA, durante la temporada (2017-2018) en maíz semillero (San Clemente, región del Maule, Chile).

A contar del segundo riego, se apreció diferencias en los caudales aplicados en cada uno de los tratamientos. En T1 regado según criterio del agricultor (generalmente cada 8 días por calendario) y con tiempos de riego de aproximadamente 12 horas, se aplicó un promedio de 1.753 m³/ha, en T2 también regado por calendario, con los igual tiempos de riego que T1, se aplicó un promedio por riego de 1.098 m³/ha y en T3 el cual se rego por manga con programación, lo que definió un tiempo de riego de 6 horas (Según canoa WSC), se aplicó un promedio por riego de 753 m³/ha. Por tanto, al considerar los caudales acumulados aplicados al cultivo durante la temporada (figura 10), se obtienen grandes diferencias, llegando en el T1 a 15.773 m³/ha, T2 a 9.878 m³/ha y T3 a 6.024 m³/ha.

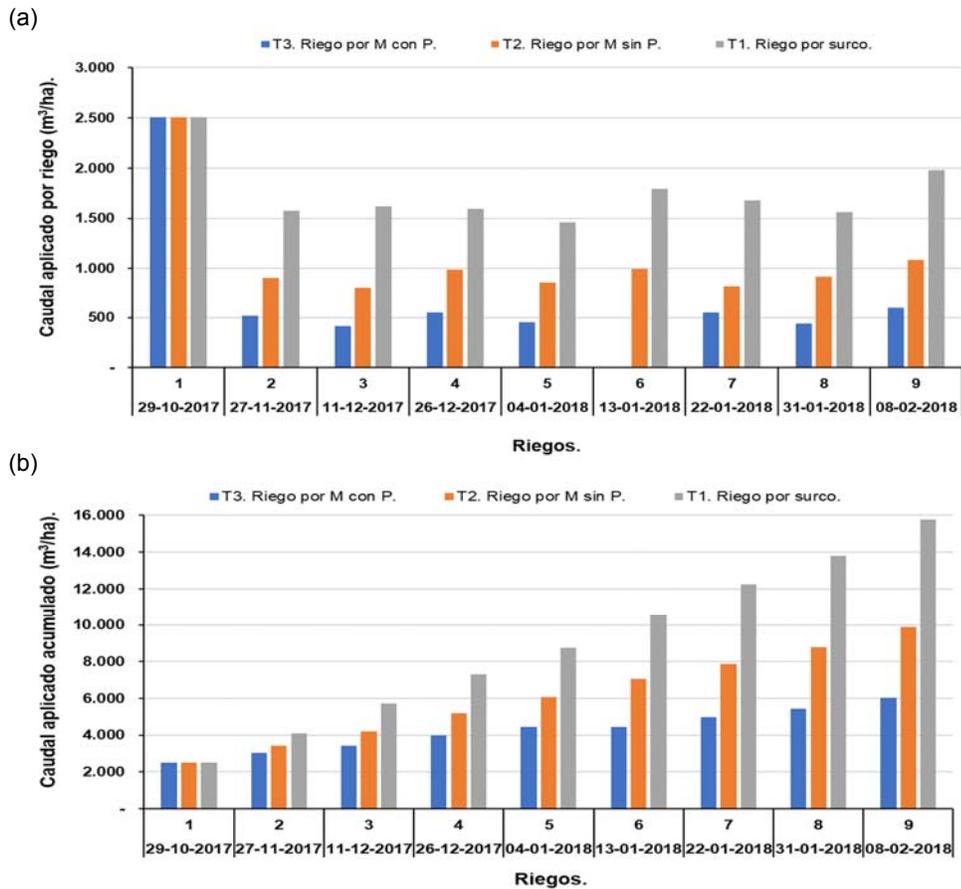


Figura 10. (a) Caudal de agua aplicada por riego (m³/ha) y (b) caudal aplicado acumulado durante la temporada de riego (2017-2018), en los distintos tratamientos de maíz semillero (San Clemente, región del Maule, Chile).

Debido a los efectos provocados por el cambio climático, se ha reportado un incremento en las demandas hídricas de los cultivos que derivan principalmente del aumento de las temperaturas, lo que aumenta la evapotranspiración y los posibles acortamientos en el ciclo

fenológicos (Ojeda *et al.*, 2011). El maíz utilizado para el ensayo tuvo un periodo fenológico de 113 días, tan solo 7 días menos de los que señala Zamora *et al.*, (2011) quienes indican que algunas variedades que necesitan alrededor de 616 mm de agua tardan 120 días en completar el desarrollo fenológico. En tanto existen híbridos de maíz dulce que son de tipo precoz que se recomiendan para la región del Maule y que oscilan entre los 100 a 115 días de desarrollo fenológico y mientras menos días demoren, menor es su necesidad hídrica, la cual es de alrededor de 500 mm de agua, menos cantidad de agua de la aplicada en los ensayos (Saavedra, 2014).

En los 113 días de desarrollo vegetativo del maíz se realizaron nueve riegos, en donde se aplicaron 15.773 m³/ha para T1 con una eficiencia del 25%, 9.878 m³/ha para T2 con una eficiencia del 40% y para el T3 el cual, por efecto de la programación, solo se realizaron ocho riegos, se aplicó un total de 6.024 m³/ha con una eficiencia de 64%. Rangos que coinciden con Chávez *et al.*, (2010) quienes indican que la mayoría de los agricultores que hacen uso de sistemas de riego por gravedad tienen un nivel de eficiencia menor al 50% a excepción del T3 que no coincide por efecto de la programación del riego, ya que logra una eficiencia mayor en el uso del recurso hídrico y logro además un rendimiento mayor en un 8% respecto a T1 (cuadro 3).

Ríos *et al.*, (2015) señalan que el concepto de productividad del agua como una herramienta de diagnóstico para comprobar la eficiencia del uso del agua y la FAO (2003) lo define como la cantidad de agua aplicada sobre el volumen de agua utilizada. Por otro lado, Zamora *et al.*, (2011) define la eficiencia del uso del agua como el rendimiento de granos de maíz entre el total de agua utilizada para su producción, por lo que en T3 se obtuvo una productividad del agua de 0,58 kg/m³ (64% de eficiencia) mayor a los otros dos tratamientos, los que bordearon los 0,2 kg/m³ para T1 (25% eficiencia) y 0,22 kg/m³ para el T2 (40% eficiencia) (cuadro 3).

Cuadro 3. Productividad del agua, caudales aplicados, eficiencia y rendimiento de los diferentes tratamientos realizados en maíz semillero, en la comuna de San Clemente, región del Maule.

| Tratamiento | Caudal total aplicado (m ³ /ha) | Eficiencia (%) | Rendimiento (kg/ha) | Productividad del agua (kg/m ³) |
|-------------|--|----------------|---------------------|---|
| T1 | 15.773 (base) | 25 | 3.249 (base) | 0,2 |
| T2 | 9.878 (-37%) | 40 | 2.241 (-31%) | 0,22 |
| T3 | 6.024 (-61%) | 64 | 3.516 (+8%) | 0.58 |

4.5 Componentes del rendimiento

El análisis estadístico presentó diferencias significativas en variados componentes del rendimiento (cuadro 4). Estos están influenciados por diversos factores ambientales, ya sea clima, disponibilidad de agua y condiciones del suelo, dentro de los cuales la disponibilidad de agua es relevante para la obtención de rendimientos óptimos (Ko & Piccinni, 2009). Existen algunas diferencias significativas con solo la aplicación de diferentes formas de riego. Componentes como, peso de granos limpios, peso de las corontas y promedio de la altura de las plantas, no presentan diferencias significativas entre T2 y T3, siendo estos componentes mejores que los del T1, el cual difiere estadísticamente de los otros dos tratamientos.

El número de granos en 100 gr y el promedio del número de granos en una mazorca presentaron diferencias estadísticas en el T2 con el T1, siendo esta diferencia en los dos componentes mejores en el T2, ya que al ser granos más pesados y en mayor cantidad, el rendimiento será mayor, en tanto la diferencia estadística que se presenta es similar a lo mencionado por Corona et al., (2012) quien menciona que, el número de granos y el peso de cada uno difieren debido a factores agronómicos y ambientales, dentro de ellos la disponibilidad hídrica, no así con T3 que fue similar estadísticamente a los otros dos tratamientos.

En el cultivo del maíz existe una estrecha relación entre la dinámica de acumulación de materia seca y el contenido de agua (Corona et al., 2012). Por lo que se puede relacionar con el número de corontas por bolsa y el número de plantas en 5 metros al realizar los distintos tratamientos, ya que, al aplicar distintas formas de riego, la formación de materia seca se puede ver alterada por la directa relación que tiene con la cantidad de agua disponible para la planta. Lo que tras el análisis estadístico se corrobora, ya que T1 y T3 no presentaron diferencias significativas, no así el T2 quien vario estadísticamente de ambos, con una disminución importante al utilizar solo manga plástica, pero sin ninguna programación de los riegos.

En la figura 11 se pueden observar los rangos de datos del promedio de las alturas de las plantas de cada tratamiento, los cuales se diferenciaron solo en el método de riego. Los datos de T3 (ilustrado en el grafico como "M con P") presentan una menor variación, lo que indica plantas más homogéneas que en T2 (M sin P) y T1 (surco), por efectos de la programación, que permitió aplicar el riego cuando la planta lo necesitaba y la cantidad de agua que demandaba, en cambio en T1, si bien el promedio de la altura de las plantas fue mayor, también lo fue la variación que hubo en el crecimiento de las plantas, las que seguramente no todas recibieron la misma cantidad de agua en los riegos de la temporada. En tanto T2 fue el ensayo que presentó mayor variación en la altura de las plantas, por efectos de la aplicación del riego que al utilizar mangas y no programar los riegos, no todos los sectores se regaron según la necesidad del cultivo.

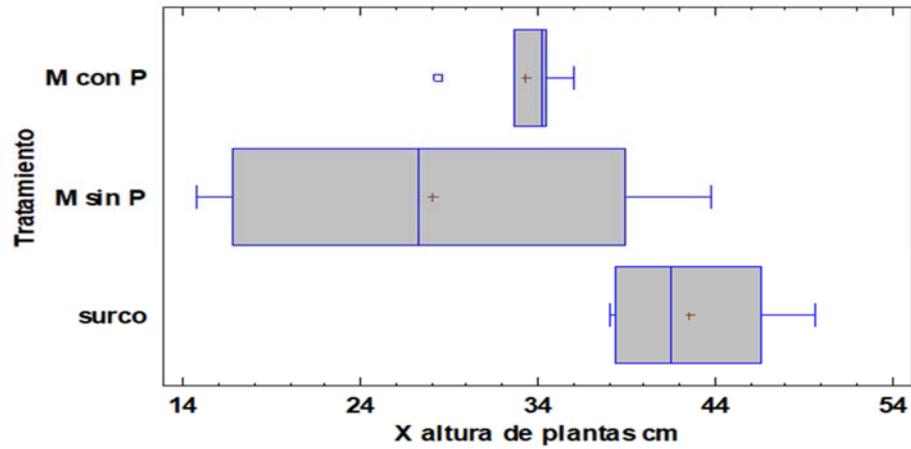


Figura 11. Gráfico de caja y bigotes del promedio de la altura de las plantas (cm), en los diferentes tratamientos (ilustrados en el gráfico como T1: surco, T2: M sin P (manga sin programación), T3: M con P (manga con programación)) en el cultivo de maíz semillero durante la temporada 2017-2018 (San Clemente, región del Maule, Chile).

Cuadro 4. Resumen de los análisis estadísticos a los componentes del rendimiento de maíz semillero de la temporada 2017-2018. (San Clemente, región del Maule, Chile).

| COMPONENTES DEL RENDIMIENTO | T1 | | | T2 | | | T3 | | | Signif. |
|---|--------|-------|----------|-------|-------|----------|--------|--------|-----------|---------|
| | Min. | Max. | Prom. | Min. | Max. | Prom. | Min. | Max. | Prom. | |
| Peso grano limpio (Kg) | 0,69 | 1,14 | 0,98 b | 0,03 | 1,15 | 0,45 a | 0,16 | 0,88 | 0,53 a | * |
| Peso corontas (kg) | 0,11 | 0,28 | 0,19 b | 0,01 | 0,21 | 0,08 a | 0,04 | 0,17 | 0,12 a | * |
| N° de corontas por bolsa | 29,0 | 36,0 | 31,12 b | 4,0 | 30,0 | 18,75 a | 18,0 | 39,0 | 32,25 b | * |
| N° de granos en 100 gr | 498,0 | 644,0 | 543,75 b | 453,0 | 536,0 | 493,38 a | 466,0 | 550,0 | 505,0 ab | * |
| N° de plantas en 5 m | 29,0 | 37,0 | 33,63 b | 15,0 | 36,0 | 28,25 a | 32,0 | 42,0 | 37,25 b | * |
| Promedio altura de plantas (cm) | 38,0 | 49,60 | 42,58 b | 14,8 | 43,80 | 28,08 a | 28,40 | 36,0 | 33,37 a | * |
| Promedio del N° de granos en 1 mazorca | 202,67 | 432,0 | 304,75 b | 17,33 | 334,0 | 170,88 a | 164,67 | 354,67 | 270,50 ab | * |
| Altura de las plantas (5 muestras) | 28,0 | 53,0 | 42,58 c | 9,0 | 48,0 | 28,08 a | 22,0 | 41,0 | 33,38 b | * |

Min= mínimo; Max = máximo; Prom = promedio seguidos en una fila por la misma letra no difieren estadísticamente; Signif. = Significancia según análisis estadístico Test LSD ($p \leq 0,05$); T1= riego por surco tradicional; T2= riego por manga sin programación; T3= riego por manga con programación

4.4 Análisis económico

La rentabilidad de los cultivos viene de la relación entre costos de producción y rendimiento (Antúnez *et al.*, 2015), desde ahí el objetivo de aumentar los rendimientos para obtener mayores retornos. Lo que se justifica aplicando simples tecnologías de bajo costo como los riegos por manga con programaciones basadas en el clima y suelo.

El cuadro 5, ilustra los costos de equipamiento. El costo para cada ensayo de 2,7 ha, fue de aproximadamente \$133.532.- donde se utilizaron 20 kilos de manga (1 kilo rinde 4,2 m) de 40 cm de diámetro con un espesor de 0,30 cm para el ancho del cabezal, además se ocupó 1 kilo de la misma manga para la unión de la toma de agua con el cabezal, también se utilizaron alrededor de 56 válvulas de riego a 1,5 m de distancia, ya que se utilizó una para dos surcos y los costos de jornada hombre, quien demoraba alrededor de 2 horas por riego en dejar el sistema funcionando.

Cuadro 5. Costos de implementación de un sistema de riego por mangas en uno de los tratamientos de cultivo de maíz semillero de 2,7 ha de superficie, en la comuna de San Clemente, región del Maule, Chile.

| Equipamientos | Unidades | Costo unitario | Costo total |
|----------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Mangas | 20 kilos | \$ 2.650 + IVA | \$ 63.070.- |
| Válvulas de riego | 56 | \$ 950 + IVA | \$ 63.308.- |
| Mangas captación | 1 kilo | \$ 2.650 + IVA | \$ 3.154.- |
| Jornadas Hombre | 2 hr | \$ 2.000 | \$ 4.000.- |
| Costo total | | | \$ 133.532.- |

El riego por surco es el método más utilizado en el país, cerca de un 70% de la superficie total de riego lo utiliza (Antúnez *et al.*, 2015). en el T1 del ensayo realizado, se utilizó dicho método, el cual obtuvo un rendimiento de 3.249 kg/ha. En cambio, en el T2 que se utilizaron mangas sin programación, cumpliendo funciones tan solo de conducción del recurso hídrico, el rendimiento bajo a 2.241 kg/ha, no justificando así el costo de inversión adicional que tiene el utilizar mangas. No paso así en el T3 donde se utilizaron mangas con programación del riego, donde el rendimiento y la eficiencia del recurso hídrico aumentaron, cumpliendo el objetivo de hacer una inversión en los equipamientos de este método, ya que al aumentar el rendimiento el retorno aumento, lo que permitió recuperar el costo de inversión.

V. CONCLUSIONES

El peso del grano limpio, el peso de las corontas y el promedio de la altura de las plantas son componentes del rendimiento que tanto en T2 y T3 no presentaron diferencias significativas no así en T1, que si difiere estadísticamente de los otros dos tratamientos. La variación que se presenta en los datos ejemplifica de mejor forma los resultados de las aplicaciones de diferentes formas de riego (con programación y sin programación), donde en el caso de la altura de las plantas indican un coeficiente de variación de datos en el tratamiento con riego por manga con programación de tan solo un 6,8% mientras que en los otros dos (T1 y T2) indican un coeficiente de variación de 10,9% y 43,7% respectivamente.

Para el número de granos en 100 gr y el promedio de grano en una mazorca presentaron diferencias estadísticas en T2 y T1, pero no así en T3, que no presento diferencia estadística con ninguno de los dos tratamientos. En ambos componentes las distribuciones de sus datos son parecidas, en el caso del número de granos en 100 gr el coeficiente de variación para el T2 es 6,3% y para el T1 fue de 8,9% mientras que el porcentaje para T3 quien no varió de los otros dos tratamientos es de 6,1%.

En cuanto al número de corontas por bolsa y el número de plantas en 5 metros, el análisis estadístico indicó que T1 y T3 no presentaron diferencias significativas, no así el T2 quien vario estadísticamente de los otros dos tratamientos, teniendo un coeficiente de variación en el número de corontas por bolsa de 62,6% mientras que el T1 y T3 tuvieron un coeficiente de 7,8 y 21,2%.

Los tres tratamientos resultaron tener eficiencias del uso del agua totalmente diferentes, logrando la mayor el T3 con aproximadamente un 64% de eficiencia, generando el mejor rendimiento de 3.516 kg/ha, siendo este un 8% mayor con respecto al rendimiento del T1, el cual tuvo una eficiencia del uso del agua de tan solo un 25% con rendimientos de 3.249 kg/ha, al igual que el T2, quien logro un 40% de eficiencia del uso del agua, con rendimientos de 2.241 kg/ha siendo este rendimiento un 36,3% menor respecto del rendimiento del T3.

Los costos de la aplicación de tecnologías son recomendables, siempre y cuando se realicen en conjunto de programaciones de los riegos, debido a que esto permite mejorar la eficiencia del uso del agua y aumentar los rendimientos, como fue el T3, en cambio en T2 si bien facilito la realización del riego y aumento la eficiencia del uso del agua, este no fue tan rentable como el anterior para el agricultor, por el bajo rendimiento obtenido y el aumento de costos que obtuvo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Antúnez, A.; Vidal, M.; Felmer, S & González, M. (2015). "Riego por Pulsos en Maíz Grano", Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín INIA N° 312. 116 pp.
- Castillo, E. & Sentís, C. (2001). Agrometeorología. Madrid. de Mundi-Prensa libros. P 332-333.
- Centro de Ciencia del Clima y la resiliencia CR2. (2015). La mega sequía 2010-2015: Una lección para el futuro., Centro de Ciencia del Clima y la resiliencia. P 2-24.
- Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología CITRA. (2014). Uso de mangas de riego. Boletín informativo. Consultado el día 26/05/2017., de Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA). Disponible en línea: http://www.citrautalca.cl/proyectos/sigesh/wp-content/uploads/2012/03/Uso_Manga_de_Riego.pdf.
- Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. CITRA. (2009). infiltración del agua en el suelo. Consultado el día 28/06/2017, Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR) disponible en línea: http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S106_Cartilla_Infiltracion_del_agua_en_el_suelo.pdf
- Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. CITRA. (2009). infiltración del agua en el suelo. Consultado el día 28/06/2017, Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR) disponible en línea: http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S110_Cartilla_Uso_mangas_plasticas_para_riego.pdf.
- Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. CITRA. (2009). infiltración del agua en el suelo. Consultado el día 28/06/2017, Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR) disponible en línea: http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S104_Cartilla_Uso_del_TDR_para_el_monitoreo.pdf.
- Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. CITRA. (2010). infiltración del agua en el suelo. Consultado el día 28/06/2017, Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR) disponible en línea: http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S208_Beneficios_de_una_adecuada_programacion_del_riego.pdf.
- Chávez, Carlos, Fuentes, Carlos, & Ventura Ramos, Eusebio. (2010). Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliácridamida. Terra Latinoamericana, Vol. 28, No. 3, Pág. 231-238, ISSN 2395 – 8030.
- Corona-Mendoza, Esmeralda, Martínez-Rueda, Carlos Gustavo, & Estrada-Campuzano, Gaspar. (2012). Determinantes del peso de grano en cultivares nativos e híbridos de maíz. Revista mexicana de ciencias agrícolas, Vol. 3, No.8, Pág. 1479-1494, ISSN 2007 - 0934.
- Cropcheck Chile. (2011). Manual de recomendaciones cultivo de maíz grano. Fundación Chile. 40 pp.

- Díaz-López, Ernesto, Loeza-Corte, Juan M., Campos-Pastelín, Jesús M., Morales-Rosales, Edgar J., Domínguez-López, Aurelio, & Franco-Mora, Omar. (2013). Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, Vol. 47, No. 2, Pág. 135-146, ISSN 2521 - 9766.
- El Centro de Información de Recursos Naturales CIREN. (1997). Descripciones de suelos, Materiales y Símbolos: Estudio Agrológico VII Región. CIREN publicación N° 117. Santiago, Chile. 270 pp.
- Faiguenbaum, H. (2003). Cereales en Chile: Situación actual y perspectivas. Maíz y Trigo. Fundación para la Innovación Agraria. 87 pp.
- Food and Agriculture Organization FAO. (1997). El maíz blanco: un grano alimentario tradicional en los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 24 pp.
- Food and Agriculture Organization, FAO. (2003)., Descubrir el potencial del agua para la agricultura . de Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO)., Cap. 3.
- Food and Agriculture Organization, FAO. (2006)., Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) Boletín n° 56.
- Food and Agriculture Organization, FAO. (2001). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Cap. Introducción al maíz y su importancia.
- Food and Agriculture Organization, FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua, un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria.. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Boletín n°38.
- Food and Agriculture Organization, FAO. (2017). Los suministros de cereales seguirán siendo abundantes en la campaña venidera, a pesar de una pequeña reducción de la producción. Consultado el día 14/04/2017. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, disponible en línea: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Hirzel C., (2011), fertilización de cultivos en Chile. colección libros INIA °28. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación Quilamapu, Chillán Chile pp. 81-89.
- Jonghan Ko, Giovanni Piccinni (2009) Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management, *Agricultural Water Management*, Volume 96, Issue 5, Pages 799-808, ISSN 0378-3774.
- Oficina de estudios y políticas agrarias ODEPA. (2013). "Cambio Climático Impacto en la Agricultura, Heladas y Sequía". Consultado el día 21/06/2017., de Oficina de estudios y políticas agrarias. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, disponible en línea Sitio web: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1388169148cambioClimatico.pdf.

- Oficina de estudios y políticas agrarias, ODEPA. (2016). Estadísticas productivas. Consultado el día 14/04/2017. Oficina de estudios y políticas agrarias. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, disponible en línea: <http://www.odepa.cl/estadisticas/productivas/>.
- Ojeda-Bustamante, Waldo, Sifuentes-Ibarra, Ernesto, Íñiguez-Covarrubias, Mauro, & Montero-Martínez, Martín J. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, Vol. 45, No. 1, Pág 1-11, ISSN 2521 – 9766.
- de Oliveira, Aureo S, Trezza, Ricardo, Holzapfel, Eduardo, Lorite, Ignacio, & Paz, Vital Pedro S. (2009). Irrigation Water Management in Latin America. *Chilean journal of agricultural research*, Vol 69 No. 1, Pág. 7-16 ISSN 0718-5839.
- Ortas, L. (2008). El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales. *Agrigan,S.A. Boletín n°7*.
- Ortega-Farias, S., Irmak, S., Cuenca, R.H.. (2009). Special issue on evapotranspiration measurement and modeling., *Irrigation Science*. Pág. 4 ISSN: 1432-1319.
- Pedrol, H., Castellarín, J., Salvagiotti, F. y Rosso, O. (2006.). El cultivo de maíz y las condiciones climáticas. Consultado el día 24/05/2017., de Engormix. Disponible en línea: <http://www.engormix.com/agricultura/articulos/cultivo-maiz-condiciones-climaticas-t26352.htm>
- Saavedra, G. (2014). El cultivo del maíz choclero y dulce. Instituto de investigación agropecuaria (INIA). Boletín N° 303.
- Sanchez De P, M., Prager, M., Naranjo, R. y Sanclemente, O. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclos de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*. Vol. 7, No. 1, Pág 19 -34.
- Servicio Agrícola y ganadero, SAG. (2016). Panorama estadístico de la programación de semillas. Servicio Agrícola y ganadero. Consultado el día 14/04/2017. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. disponible en línea : <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/estadisticas>.
- Sifuentes Ibarra, Ernesto, Macías Cervantes, Jaime, Ruelas Islas, Jesús del Rosario, Preciado Rangel, Pablo, Ojeda Bustamante, Waldo, Inzunza Ibarra, Marco Antonio, & Samaniego Gaxiola, José Alfredo. (2015). Mejoramiento del grado de uso del nitrógeno en maíz mediante técnicas parcelarias de riego por superficie. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, Vol. 6, No. 8, Pág. 1903-1914, ISSN 2007 - 0934.
- Torres, M. (2002). Fertilización nitrogenada del cultivo de maíz. Consultado el día 27/11/2018, de Fertilizando.com, disponible en línea :<http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.asp>.
- Zamora, S., Higinio, F., Beltrán, F., Fenech, L., Murillo, B., Loya, J. & Troyo, E.. (2011). Régimen hídrico del maíz en una zona árida, determinado en porcentaje de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. No. 13, Pág. 181 – 186.

Zamudio-González, Benjamín, Tadeo-Robledo, Margarita, Espinosa-Calderón, Alejandro, Martínez Rodríguez, Juan Nelson, Celis Euan, David Israel, Valdivia Bernal, Roberto, & Zaragoza Esparza, Job. (2015). Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, Vol. 6, No. 7, Pág. 1557-1569, ISSN. 2007 - 0934.