

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ (*ZEA MAYS*
L.) ANTE RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO**

POR

NICOLÁS ALEJANDRO URIBE PALMA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE
2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ (*ZEA MAYS*
L.) ANTE RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO**

POR

NICOLÁS ALEJANDRO URIBE PALMA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE
2024**

Aprobada por:

Profesor Asistente, Mathias Kuschel O.
Ing. Civil Agrícola, Dr.

Guía

Profesor Asociado, Nelson Zapata SM.
Ing. Agrónomo, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Jorge Campos P.
Profesor de Estado en Matemáticas. Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary.....	1
Introducción	2
Materiales y Métodos	4
Resultados y Discusión	10
Conclusiones	17
Referencias	17

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Figura 1	Mapa mudo región de Ñuble, se destaca con un símbolo la ubicación del ensayo.....	4
Figura 2	Distribución y dimensiones de las parcelas.....	7
Figura 3	Diferencia visual de cantidad de granos entre T1 y T4....	10
Figura 4	Número total de granos en una mazorca.....	11
Figura 5	Masa (g) de una muestra de 100 granos.....	12
Figura 6	Peso total de los granos de una mazorca expresado en gramos.....	13
Figura 7	Rendimiento del maíz en función de la reposición hídrica.....	15
Figura 8	Eficiencia del uso del agua (WCUE).....	16
Tabla 1	Análisis químico de suelo.....	5
Tabla 2	Análisis físico de suelo a distintas profundidades.....	6
Tabla 3	Coeficiente de cultivo Kc en función del estado fenológico del maíz.....	8
Tabla 4	Reposición hídrica total (mm) según tratamiento.....	9
Tabla 5	Promedio de peso del total por mazorca para cada tratamiento.....	13
Tabla 6	Estimación de producción por hectárea para los distintos tratamientos.....	14
Tabla 7	Rendimiento de kilogramos de maíz por hectárea en función de la reposición hídrica.....	15

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ (*ZEА MAYS L.*) ANTE RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO

EVALUATION OF YIELD PARAMETERS OF MAIZE (*ZEА MAYS L.*) UNDER SUSTAINED DEFICIT IRRIGATION

Palabras índice adicionales: Eficiencia del uso del agua, reposición hídrica. función de producción.

RESUMEN

Se realizó un ensayo en campo de bloques al azar con el objetivo de evaluar parámetros de rendimiento del maíz (*Zea Mays L.*) regado a distintos niveles de reposición hídrica: 100, 120, 75 y 60% con respecto a la evapotranspiración de cultivo. Los parámetros evaluados fueron los siguientes: número total de granos por mazorca, masa de 100 granos y masa del total de los granos contenidos en una mazorca. Los resultados obtenidos reflejaron la relación entre la producción en función del agua aplicada, existiendo diferencias significativas para todos los tratamientos en todas las mediciones, exceptuando el peso de 100 granos, para los tratamientos de 100 y 120% ETc en donde no hubo diferencia estadística. Sin embargo, existe una disminución en la eficiencia del uso del agua una vez se supera el 100% de la reposición hídrica. Este estudio brinda información respecto al comportamiento del maíz frente a situaciones de déficit hídrico y sirve como base para un eventual manejo en donde el agua sea una limitante o el costo operacional de bombeo sea elevado.

SUMMARY

A field trial with split plots was conducted with the aim of evaluating yield parameters of maize (*Zea Mays*) irrigated at different levels of water replenishment: 100, 120, 75, and 60% with respect to the crop evapotranspiration. The evaluated parameters were as follows: total number of grains per cob, mass of 100 grains, and mass of the total grains contained in a cob. The results obtained reflected the relationship between production and the amount of water applied, showing significant differences

for all treatments in all measurements, except for the weight of 100 grains. For the 100 and 120% ETc treatments, there was no statistical difference. However, there is a decrease in water use efficiency 100% of water replenishment was exceeded. This study provides information on the behaviour of maize under water deficit conditions and serves as a basis for potential management strategies where water is a limiting factor, or the operational cost of pumping is high

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales más importantes en la alimentación mundial. En la actualidad, es el cultivo más extendido a nivel global, con 170 países y más de 200 millones de hectáreas cosechadas en el 2018 (FAO, 2023). A nivel mundial, para el año 2022 se registraron 203.470.007 hectáreas cosechadas, con una producción total de 1.163.497.383 toneladas (FAO, 2024). El cultivo del maíz tiene un importante rol en las explotaciones agrícolas del ámbito nacional debido principalmente a la demanda de la industria avícola y porcina.

En Chile se puede observar un decaimiento en la superficie sembrada desde el año 2015 (125.200 ha) (FAO, 2023) llegando en el año 2021 a una superficie de 79.624 hectáreas (INEGI, 2021), es decir, la superficie sembrada disminuyó un 36,41%. Para la presente temporada (2023/2024), ODEPA (2024) ha estimado una superficie sembrada de 38.427 hectáreas de maíz. Esto representa una disminución del 8,1% respecto a la temporada 2022/2023.

Según un estudio realizado por Santibáñez (2016), se afirma que en la cordillera de Los Andes se proyecta que para el año 2050, la isoterma de 0°C se eleve entre 300 y 500 metros, lo que resultará en una disminución en la capacidad de retención de nieve en la cordillera, incluso si la cantidad de precipitación se mantiene constante. La elevación de la isoterma 0°C en 500 metros trae consigo la disminución en la superficie cubierta de nieve, disminuyendo los reservorios de agua. Si se toma como referencia desde el río Aconcagua hasta el río Biobío, supone una pérdida estimada de 400 a 450 millones de metros cúbicos de agua para esa zona, que ahora se presentarían en forma líquida perdiéndose en los cauces de río en lugar de ser reservada de manera sólida. Esto significa que dicha

agua ya no estará disponible durante la estación estival, cuando se necesita para riego. Sumado a esto, Santibáñez (2016) señala que se esperan disminuciones de las precipitaciones para las regiones desde Valparaíso al Biobío de hasta el 50% siendo esta zona la más afectada respecto a la disminución de precipitaciones.

En cuanto al riego y a la superficie del maíz en Chile, según el CENSO agropecuario 2021 (INEGI, 2021), se cuantificaron un total de 79.624 ha, de las cuales, 54.462 ha (68%), fueron regadas de manera gravitacional, 1.159 ha (1,2%) por micro riego y 24.003 ha (30,8%) por aspersión. Según la información recopilada, se puede decir que por lo general los sistemas de riego utilizados para maíz en Chile, son de eficiencia baja, ya que los riegos gravitacionales (por surco o riego tendido) su eficiencia puede ser inferior al 50% (Antúnez, *et al.*, 2009). Por supuesto, esta eficiencia depende del diseño y manejo del riego. Por otro lado, los sistemas por aspersión tienen una eficiencia del 75% (Antúnez *et al.*, 2009). Es decir, un 75% del agua aplicada llega de manera efectiva al sistema de la planta, en donde el resto se pierde por evaporación y deriva, entre otros factores.

Con las condiciones y proyecciones mencionadas anteriormente, es importante darle al recurso hídrico un uso eficiente, sin comprometer de manera significativa la producción.

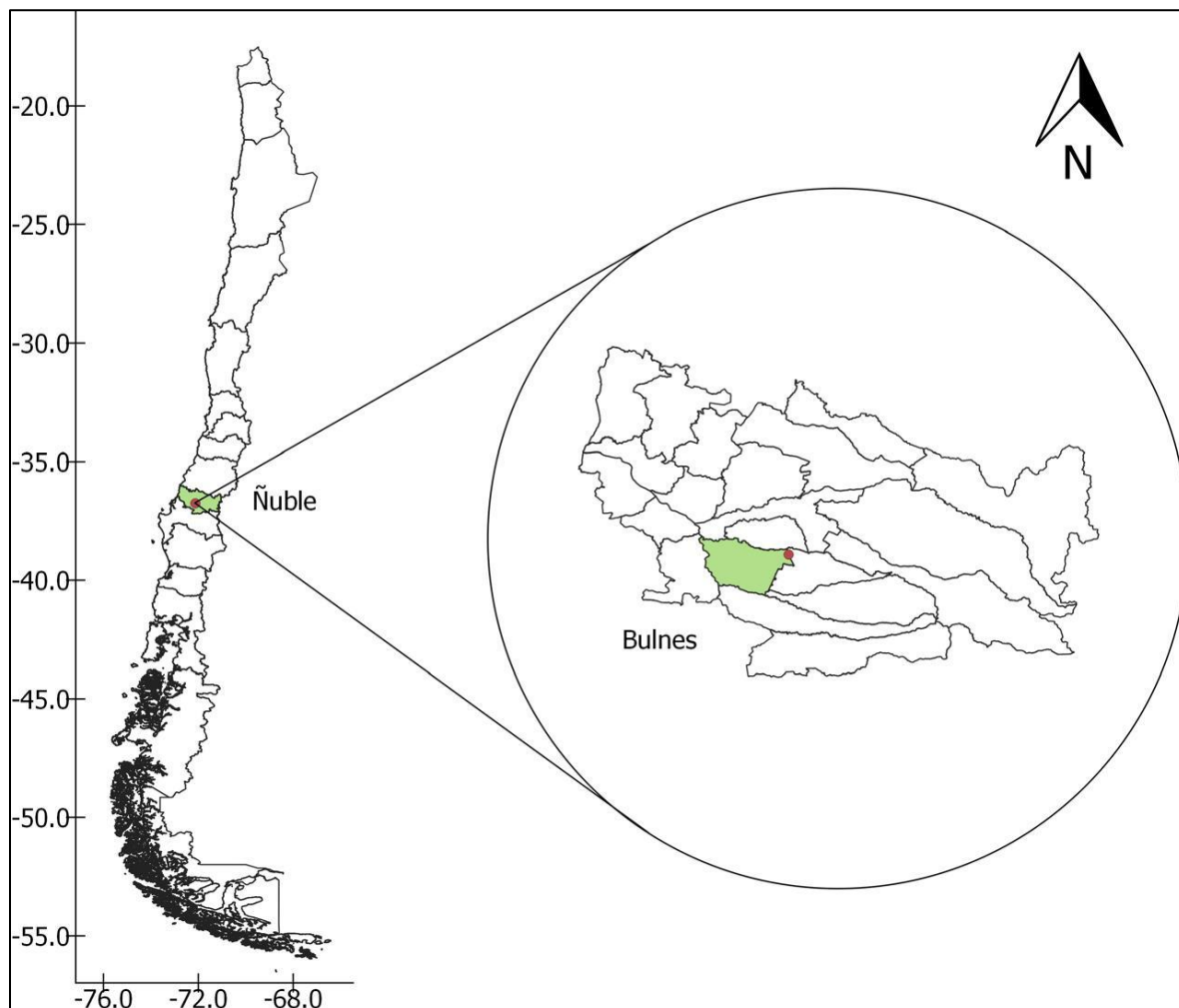
Como señala Mendoza (2016), es posible realizar una disminución en la lámina de agua aplicada sin disminuir significativamente la producción, como también, Salgado (2007), indica que el punto de mayor eficiencia del uso del agua, es decir, la mayor cantidad de producción por unidad de agua no es la óptima al realizar una reposición hídrica del 100% de la evapotranspiración. Es por esto, por lo que en este ensayo se plantea la hipótesis de que el riego deficitario sostenido en el cultivo de maíz puede resultar en una reducción del consumo de agua sin comprometer significativamente la producción. El objetivo principal de este proyecto es evaluar el comportamiento de los parámetros de producción de interés y comparar las consecuencias producidas que nos puede otorgar el riego deficitario sostenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El ensayo se realizó en la agrícola Santo Domingo de Meco, perteneciente a la comuna de Bulnes, Chile, ubicado en la Ruta N59-Q, kilómetro 16 ($36^{\circ} 45'S$, $72^{\circ} 7'W$) a una elevación de 162 msnm (Figura 1).

Figura 1. Ubicación del sitio de estudio



Fuente: Elaboración propia

El predio mencionado anteriormente pertenece a un particular, quien facilitó la superficie para este ensayo y puso a disposición maquinaria, materiales, suministros eléctricos e hídricos.

Material vegetal

El material vegetal utilizado fue maíz para grano, cultivar DK-469 (Dekalb). La siembra se realizó el día 23 de octubre de 2023 mediante una sembradora neumática con una densidad de siembra de 93.000 semillas por hectárea.

Preparación del suelo

Se laboreó de manera mecánica el total de la superficie disponible para el ensayo (1.500 m²). En primera instancia se realizó un subsolado con cincel a una profundidad efectiva de 50 centímetros. Posteriormente, con una rastra se mulló el suelo en dos ocasiones distintas. Para finalizar se utilizó una roto fresadora para preparar la cama de semillas. No se fertilizó ni utilizaron enmiendas ya que no se contaba con materiales ni recursos.

Condiciones físico-químicas del suelo. Posterior al acondicionamiento de suelo, se realizaron 5 calicatas en la superficie del ensayo para la recopilación de sus propiedades físico-químicas. Las muestras químicas se obtuvieron en un perfil de de 20 a 40 centímetros (Tabla1). Además, se realizaron dos muestras físicas a diferentes profundidades. Las muestras físicas se tomaron en un horizonte de 0 a 20 y de 20 a 60 cm de profundidad respectivamente (Tabla 2).

Tabla 1. Análisis químico de suelo

Variable	Valor	Unidad de medida
pH	5,4	
Materia Orgánica	2,2	%
Nitratos	5	mg kg ⁻¹
Amonio	2	mg kg ⁻¹
Nitrógeno disponible	7	mg kg ⁻¹
Fósforo disponible	3	mg kg ⁻¹
Potasio disponible	120	mg kg ⁻¹
Potasio intercambiable	0,31	cmol kg ⁻¹

Diseño experimental

Correspondió a un diseño de bloques completos al azar, de 4 tratamientos de reposición hídrica distinta con 3 repeticiones cada tratamiento, conformando un total de 12 parcelas de 6 m de ancho por 12 m de largo cada una (Figura 2).

Los tratamientos fueron los siguientes.

- Tratamiento (T1 testigo). Reposición del 100% de ETc
- Tratamiento (T2). Reposición del 120% de ETc
- Tratamiento (T3). Reposición del 75% de ETc
- Tratamiento (T4). Reposición del 60% de ETc

Tabla 2. Análisis físico de suelo a distintas profundidades

Variable	0-20 cm	20-60 cm	Unidad de medida
Arena	47,3	49,8	%
Arcilla	32,1	34,6	%
Limo	20,7	15,7	%
Textura	FAa	Aa	
Capacidad de campo	32,1	33,3	% Vol
Punto de marchitez permanente	20,2	21,9	% Vol
Humedad aprovechable	11,9	11,4	% Vol

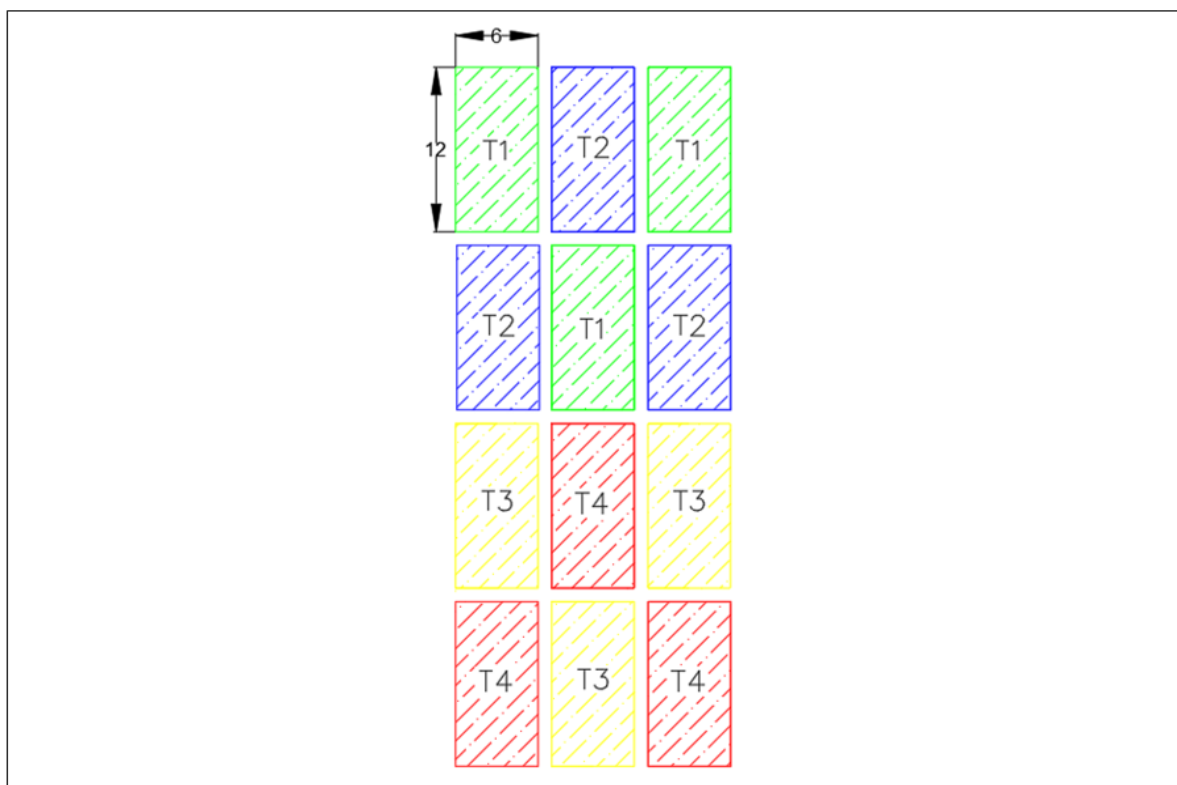
*FAa: Franco arcilloso arenoso Aa: Arcilloso arenoso

En la Figura 2 se representa la distribución de las parcelas y sus dimensiones. Se distribuyeron de tal manera con el objetivo de simplificar la conducción del suministro hídrico de este ensayo, consiguiendo poder realizar una diferenciación de las parcelas y poder regarlas de manera independiente entre un ensayo y otro. Si bien se utilizó la misma tubería matriz cada tratamiento contó con un sistema de apertura de válvulas manual independiente.

Riego

El riego implementado corresponde a un sistema de micro riego por cinta con una separación de 75 centímetros entre hileras y un distanciamiento de los emisores de 20 centímetros, con un caudal de 2 L h⁻¹ por cada emisor. Estas características permiten a nuestro sistema de riego tener una precipitación de 13,3 mm h⁻¹. La profundidad radical efectiva que se determinó para el riego fue de 35 centímetros (Faiguenbaum, 2020). Basándonos en los estudios físicos de suelo (Tabla 2), se estableció una lámina bruta de riego de 23 mm (considerando un 90% de eficiencia de aplicación). Esta lámina bruta se determinó considerando un criterio de riego correspondiente al 50% de la humedad aprovechable (Faiguenbaum, 2020).

Figura 2. Distribución y medidas de las parcelas (medidas en m)



Los parámetros de rendimiento evaluados fueron los siguientes.

- Número total de granos por mazorca
- Peso total de granos por mazorca

- c) Peso de una muestra de 100 granos
- d) Eficiencia del uso del agua

Reposición hídrica. Se determinó la evapotranspiración de cultivo (ET_C) utilizando la siguiente ecuación.

$$ET_C = ET_o \times K_C$$

Siendo ET_o la evapotranspiración de referencia (en mm) y K_C el coeficiente de cultivo (Tabla 3). La reposición hídrica se basó en la ET_C de T1 con un tiempo de riego establecido de 104 minutos por evento de riego. Los demás tratamientos se regaron de manera independiente basándose en el tiempo de riego establecido para el tratamiento testigo.

Se tomó como referencia la estación meteorológica más cercana, *Chillán Mayulermo*, ubicada en la comuna de San Ignacio ($36^\circ 49' 41'' - 71^\circ 52' 1''$) a 37 km de distancia del ensayo, como fuente de datos para la evapotranspiración de referencia (ET_o).

Tabla 3. Coeficiente de cultivo K_C en función del estado fenológico del maíz (Faiguenbaum, 2020)

Estado de desarrollo	Valor de K_C
2 hojas	0,18
4 hojas	0,35
6 hojas	0,50
8 hojas	0,70
10 hojas	0,90
12 hojas	1,10
14 hojas	1,15
Inicio del dentado	1,10
1/3 línea del dentado	1,05
1/4 línea del dentado	1,00
Línea de leche hasta su desaparición	0,90
Formación de granos hasta grano lechoso	0,70
Prefloración a estado de ampolla	0,90
Terminó el dentado	0,90

Para asegurar emergencia de las semillas, se realizaron dos riegos por aspersión respetando la ETc de T1. Posteriormente los riegos se llevaron a cabo por el sistema de cintas.

Una vez estimado la ETc y conociendo los tiempos de riego, la precipitación de nuestro sistema de riego, se puede elaborar una tabla resumen que nos muestra el total de agua aplicada durante la temporada. (Tabla 4)

Tabla 4. Reposición hídrica total según tratamiento

Tratamiento	Agua aplicada en la temporada (mm)
T1	409,86
T2	496,12
T3	309,45
T4	247,56

T1: 100% ETc, T2: 120% ETc, T3: 75% ETc, T4: 60% ETc.

Es importante destacar que la diferenciación de la reposición hídrica en los distintos tratamientos se realizó a partir del estado V6. Este estado corresponde a la apertura total de las primeras 6 hojas, ya que de acuerdo con Faiguenbaum (2020), es la etapa de crecimiento vegetativo previa a que se defina fisiológicamente la cantidad de hileras y granos en la mazorca.

Extracción de muestras

Se cosechó de manera manual los individuos seleccionados previamente al azar, siendo 8 individuos por parcela experimental. Para la selección se descartaron dos hileras de siembra en todo el perímetro de la parcela para eliminar el efecto borde y disminuir el error experimental.

Conteo de granos. Se realizó un conteo manual del número de granos totales que había en cada mazorca y se llevó a cabo un registro.

Peso de 100 granos. Se apartó una muestra de 100 granos de cada mazorca, y se pesaron todas las muestras de manera independiente con una balanza.

Peso total de la mazorca. Se pesó el total de los granos de una mazorca.

Análisis estadístico

Los resultados fueron sometido a un análisis de varianza (ANDEVA) utilizando el software InfoStat con un intervalo de confianza de 0,05. Se utilizó la prueba LSD Fisher para evaluar diferencias estadísticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento en cantidad de granos por unidad de mazorca

Como se representa en la Figura 3 y 4, el número de granos en cada mazorca varía en función del tratamiento evaluado, ya que se observa variabilidad estadística representada con distintas letras para cada tratamiento por separado.

Figura 3. Diferencia visual de cantidad de granos entre T1 (izquierda) y T4 (derecha)

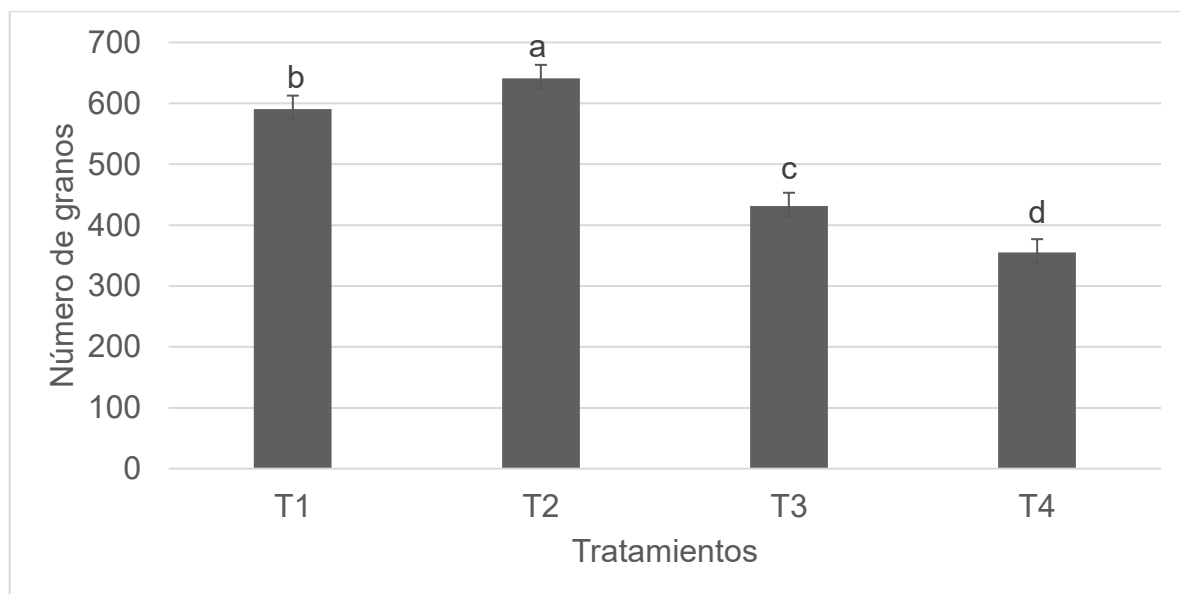


Fuente: elaboración propia de este ensayo

Según señala Faiguenbaum (2020) el principal factor que afecta la cantidad potencial de hileras y número de granos contenidos en una mazorca es la genética del híbrido, sin embargo, este potencial no siempre es alcanzado debido a distintos estreses tanto bióticos (plagas, fito patógenos, entre otros) como abióticos (estrés hídrico, exceso de temperatura y radiación, entre otros). En la Figura 3 se demuestra que para condiciones de estrés hídrico existe variabilidad estadística respecto a la

cantidad de granos totales que pueden existir en una mazorca dependiendo del nivel de estrés.

Figura 4. Número total de granos en una mazorca para cada tratamiento



*Letras iguales en las barras significa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$) T1: 100% de ETc, T2: 120% de ETc, T3: 75% de ETc, T4: 60% de ETc.

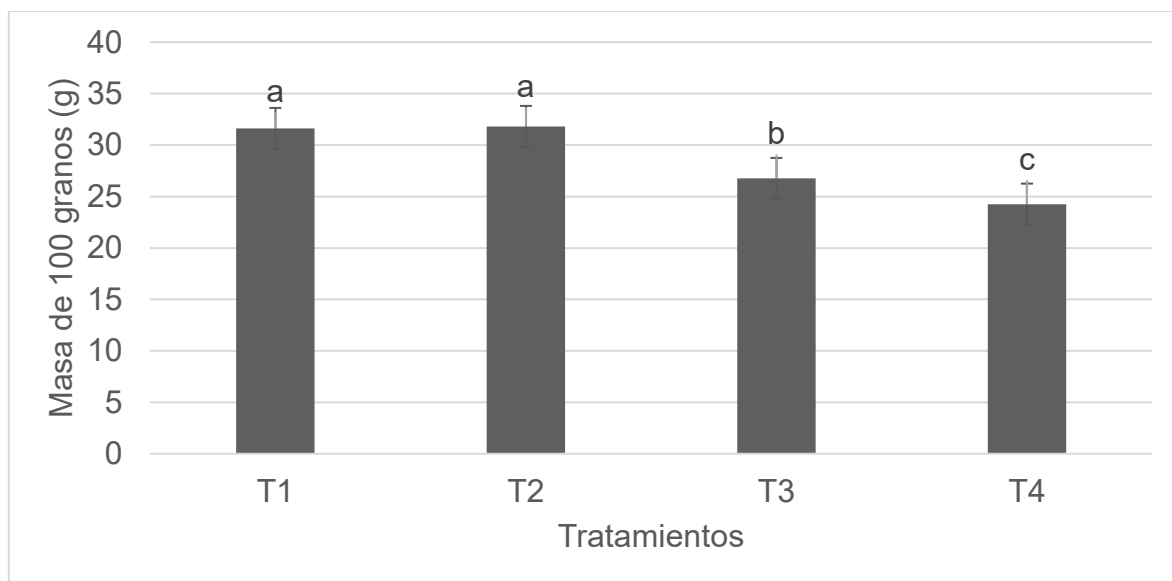
Peso de una población de 100 granos

Como se representa en la Figura 5, no existe variabilidad estadística entre T1 y T2. Sin embargo, si existe variabilidad respecto a los tratamientos T3 y T4, siendo inferiores los últimos mencionados. Faiguenbaum (2020) quien señala que el déficit en la reposición hídrica afecta la turgencia de los granos dando como consecuencia una disminución en el peso de éstos y una baja en la producción total. En la Figura 5 queda demostrado que al realizar un riego deficitario el peso de los granos disminuye significativamente.

Similar con lo que indica Elhordoy (2019), el peso de 100 granos en una reposición del 100% es de 31 gramos aproximadamente. Sin embargo, este dato está sujeto a variables como el híbrido de siembra, densidad y fertilización. Sumado a lo anterior Antúnez *et al.*, (2011) concluye que el exceso de riego por sobre los requerimientos estimados de ETc en maíz, no se justifica al no tener efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo, lo que se ve reflejado en que en T1 y

T2 no existe diferenciación pese a que T2 se le administro un 20% más de agua respecto a T1.

Figura 5. Masa de una muestra de 100 granos para cada tratamiento.



*Letras iguales en las barras significa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$) T1: 100% de ETc, T2: 120% de ETc, T3: 75% de ETc, T4: 60% de ETc.

Peso total por mazorca

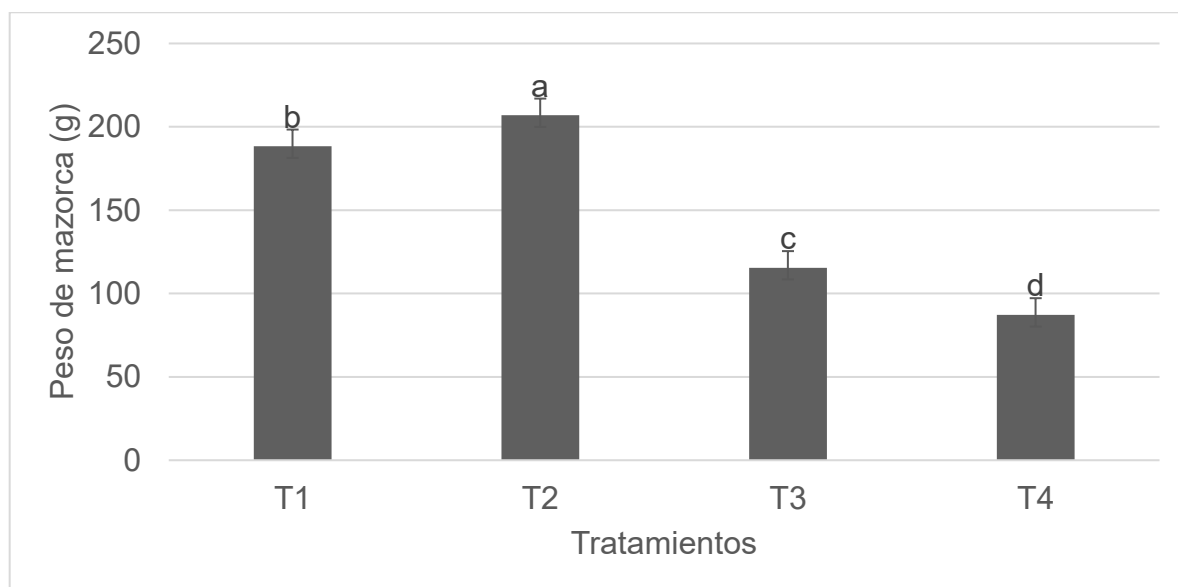
Se pesó el total de granos presentes en cada mazorca. Según se puede observar en la Figura 5, existe diferencias significativas entre los tratamientos, siendo T2 (120% de la ETc) el tratamiento con mejor rendimiento en peso por mazorca. El peso total de la mazorca va ligado a las variables mencionadas anteriormente, siendo directamente proporcional al peso de los granos y a la cantidad de estos. Es por esto que los resultados que se muestran en la Figura 6 están correlacionados con Figura 4 y 5 siendo T1 y T2 los tratamientos que mostraron mejor comportamiento en base a esta variable.

El rendimiento final de cada mazorca está sujeto a la cantidad de granos y al peso de estos, siendo superior para T2 por las variables antes mencionadas.

Rendimiento en función de la reposición hídrica

Se realizó una estimación de rendimiento considerando los datos de la Tabla 4 y Figura 5 para evaluar la producción en función de la cantidad de agua aplicada.

Figura 6. Peso total de los granos de una mazorca expresado en gramos.



*Letras iguales en las barras significa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$) T1: 100% de ETc, T2: 120% de ETc, T3: 75% de ETc, T4: 60% de ETc.

Para esta estimación se tomó como supuesto una densidad de siembra correspondiente a la misma de este ensayo (93.000 semillas ha⁻¹) además, se consideró un 100% de emergencia de semillas y que cada planta logró formar una sola mazorca (Tabla 6).

Tabla 5. Promedio de peso del total por mazorca para cada tratamiento

Tratamiento	Peso del total de granos (g)
T1	188
T2	207
T3	115
T4	87

T1: 100% ETc, T2: 120% ETc, T3: 75% ETc, T4: 60% ETc.

El rendimiento por hectárea se determinó con la siguiente fórmula y se utilizaron los datos de los promedios de los rendimientos de cada mazorca (Tabla 5).

$$y = \frac{n \times p}{1.000}$$

Siendo y el rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}) n el número de individuos en una hectárea y p el peso de cada individuo expresado en gramos. El denominador presente en la ecuación es un factor de conversión para expresar el resultado expresado en kg ha^{-1} . La producción estimada se resume en Tabla 6.

Tabla 6. Estimación de producción por hectárea para los distintos tratamientos

Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})
T1	17.484
T2	19.158
T3	10.695
T4	8.091

T1: 100% ETc, T2: 120% ETc, T3: 75% ETc, T4: 60% ETc.

Con la simulación realizada se puede generar una curva que nos permita predecir un rendimiento esperado en función de la reposición del agua con la siguiente ecuación (Figura 7).

$$y = ax^2 + bx + c$$

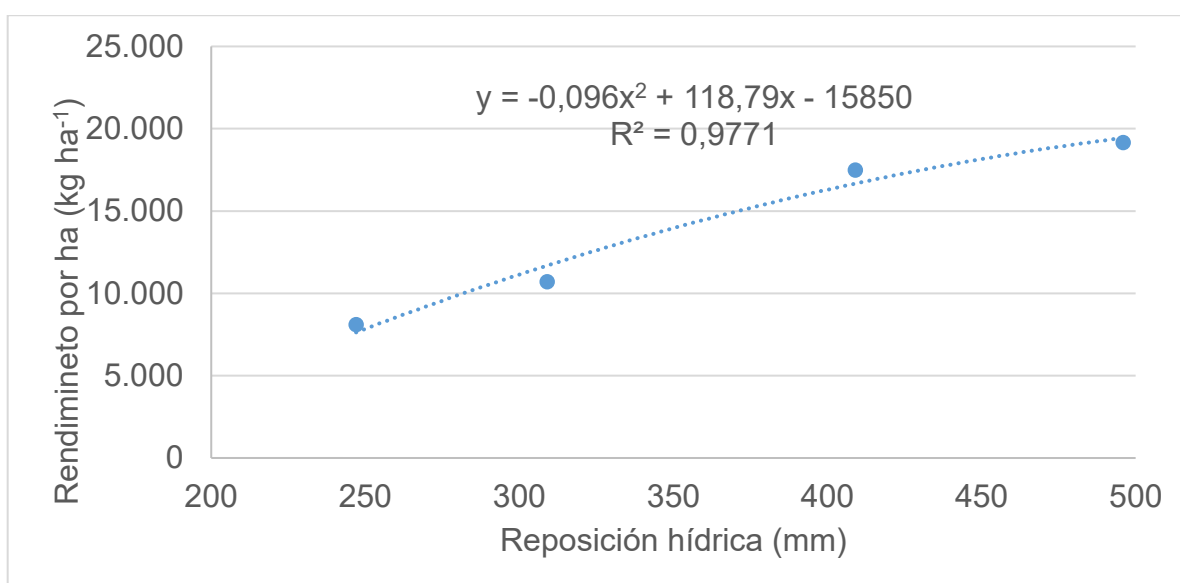
Donde la variable dependiente y corresponde al rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}) y x es nuestra variable dependiente la cual corresponde a la reposición hídrica expresada en mm.

La ecuación presentada permite a un agricultor realizar una predicción de un posible rendimiento tomando en cuenta la variable de reposición hídrica y así tomar decisiones en base a esta. Es importante conocer el balance hídrico de nuestro cultivo y tener claro la cantidad de agua disponible para hacer uso de ella para con esto poder definir la extensión de nuestro cultivo y hacer un uso más eficiente del agua obteniendo los mejores resultados posibles para cada condición.

Carvallo *et al.* (1998) propone que existe una relación directa entre el agua aplicada y una producción en nuestro cultivo, considerando además la textura de suelo. Utilizando el modelo de producción descrito por Carvallo *et al.* (1998) ajustando los coeficientes de corrección para textura franco-arcillosa, además de utilizar los datos de reposición de este ensayo (Tabla 4) se obtienen resultados

similares, presentando variabilidad del 6% y 10% para los tratamientos T1 y T2 respectivamente. Sin embargo, para T3 y T4 existe una variabilidad mayor, 30% y 40% respectivamente. Sumado a lo anterior, se realizó una comparación con el modelo de producción propuesto en la FAO 33 (Doorenbos y Kassam, 1979). En donde se indica que el K_y para el maíz es de 1,25. Valor con el cual los valores de rendimiento coinciden con los resultados obtenidos en este ensayo para los distintos niveles de reposición hídrica.

Figura 7. Rendimiento del maíz en función de la reposición hídrica



T1: 100% ET_c, T2: 120% ET_c, T3: 75% ET_c, T4: 60% ET_c.

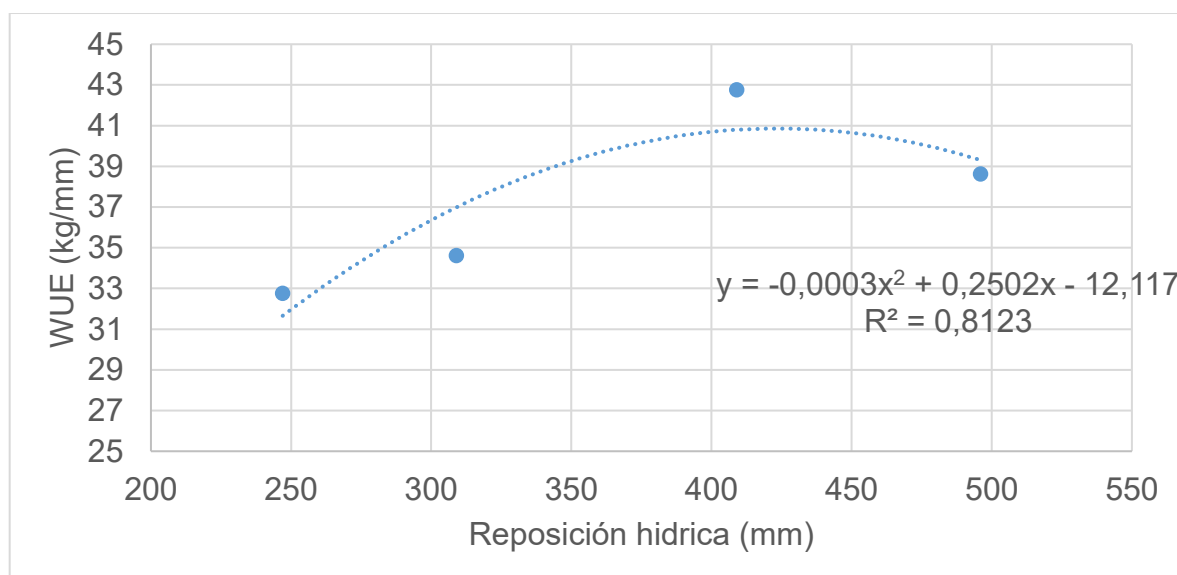
Tabla 7. Eficiencia del uso del agua (kg/mm)

Tratamiento	WUE (kg/mm)
T1	43
T2	39
T3	35
T4	33

Conociendo la función de producción, se puede establecer un modelo de eficiencia del uso del agua o Water Use Efficiency (WUE) estableciendo una relación de cuanta producción se obtiene, en función de unidades de agua aplicada (Tabla 7). El WUE (kg/mm) nos representa la eficiencia del agua para transformarse en una unidad productiva (Perry, 1999).

Con estos datos se puede generar una curva que nos permita relacionar el WUE respecto a la reposición hídrica (Figura 8). Esta curva nos permite conocer los puntos más alto de la eficiencia del uso del agua.

Figura 8. Eficiencia del uso del agua en función de la reposición hídrica (WUE)



Como se puede observar en la Figura 7, existen cambios en el cociente entre producción y el agua aplicada a medida que la reposición varía. Sin embargo, este parámetro alcanza su mayor eficiencia cercano a los valores de reposición de T1 (Tabla 4) y decae una vez que existe un exceso de reposición respecto a la ETc, lo que significa que a pesar de que los rendimientos fueron mayores en T2 (Tabla 6) la eficiencia del uso del agua, es decir, la producción que se obtiene por unidad de agua es inferior una vez que se excede una reposición hídrica cercana al 100% de la ETc, lo que se condice con lo observado por García y Lemos (2017), que tras su ensayo afirma que pese a que el riego en exceso en base a la evapotranspiración

de cultivo puede convertirse en un aumento en el rendimiento de nuestro cultivo, no significa que la eficiencia del uso del agua sea mayor, muy por el contrario, decae.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos de este ensayo, se puede concluir que:

1. Existe una relación directa en la cantidad de agua aplicada a nuestro cultivo con la producción de éste.
2. El riego deficitario controlado puede impactar significativamente la producción de nuestro cultivo, ya que los resultados indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos al compararlos en distintos parámetros de evaluación.
3. Si bien el regar en exceso en base a la evapotranspiración de cultivo, puede significar un aumento en el rendimiento final de nuestra producción, pero la eficiencia del uso del agua es menor, además de aumentar los costos operacionales.

REFERENCIAS

1. Antúnez, A., S. Elmer, y L. Mora (2009). Eficiencia de riego en sistemas localizados [en línea]. San Fernando: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, no. 190. Recuperado de: <<https://hdl.handle.net/20.500.14001/7279>> [Consulta: 6 julio 2023].
2. Antúnez, A., E. Carvallo, J. Otárola, H. Subiabre. (2011). Respuesta del maíz grano al exceso y déficit de riego en el valle de Azapa [en línea]. Arica. Boletín informativo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, no. 47 recuperado de <<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/66e4387f-d3e1-47bf-8be6-460752b3f621/content>>
3. Carvallo, O., A. Holzapfel, M. A. Lopez y M. A. Mariño (1998). Irrigated cropping optimization. Journal of irrigation and drainage. ASCE.
4. Doorenbos, J., A. Kassam (1979). FAO 33 irrigation and drainage: yield response to water. Food and agriculture organization of the united nations, Roma. Recuperado de <YieldResponsetowater-original1979.pdf>

5. Elhordoy A. (2019). Riego deficitario y completo en cultivo de maíz. Universidad de la republica facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.
6. Faiguenbaum, H. (2020). El cultivo del maíz. Santiago: Copeval.
7. FAO. (2023). *Food and Agriculture Organization*. From Food and Agriculture Organization recuperado de <<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>>. [Consulta: 23 junio 2024].
8. FAO. (2024). Situación alimentaria Mundial: Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. From Food and Agriculture Organization. Recuperado de: < <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es> > [Consulta: 13 junio 2024].
9. Garcia F., S. Lemos (2017). Riego deficitario en maiz. Universidad de la republica facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.
10. INEGI. (2021). Censo agropecuario 2021. Superficie principal sistema de riego. Chile.
11. Mendoza C. (2016). Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) recuperado de <[2007-4026-inagbi-8-01-29.pdf](https://scielo.org.mx/2007-4026-inagbi-8-01-29.pdf) (scielo.org.mx) >.
12. ODEPA. (2024). Informe Semanal Temporada de maíz 2023-2024 Semana N° 20 13 al 19 de mayo de 2024. Recuperado de < [Informe-Temporada_Maiz-Semana_20-may24.pdf](https://www.odepa.gob.cl/Informe-Temporada_Maiz-Semana_20-may24.pdf) (odepa.gob.cl) > [Consulta: 12 de agosto 2023].
13. Perry, J. (1999) The IWMI water resources paradigm – definitions and implications. (vol. 40) recuperado de <<https://www.sciencedirect.com/journal/agricultural-water-management/vol/40/issue/1>>
14. Santibañez, F. (2016). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. Santiago: INFODEP.
15. Salgado, Z. (2007). Water use efficiency in maize by drip irrigation, in la Paz Valley, Baja California Sur, Mexico. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Recuperado de Redalyc.Eficiencia en el uso del agua en maíz (Zea Mays L.) con riego por goteo, en el Valle de la Paz, Baja California Sur, México.