

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA DE CEREZO BAJO RIEGO  
DEFICITARIO CON APLICACIÓN DE LIXIVIADOS DEL PROCESO DE  
LOMBRICULTURA**

**POR**

**ESTEBAN IGNACIO ESCOBAR ORTIZ**

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

**CHILLÁN – CHILE  
2025**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA DE CEREZO BAJO RIEGO  
DEFICITARIO CON APLICACIÓN DE LIXIVIADOS DEL PROCESO DE  
LOMBRICULTURA**

**POR**

**ESTEBAN IGNACIO ESCOBAR ORTIZ**

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

**CHILLÁN – CHILE  
2025**

Aprobada por:

Profesor asociado, Arturo Calderón  
Ing. Agrónomo, Ph. D

---

Guía

Profesor asociado, Macarena Gerding  
Ing. Agrónomo, Ph. D.

---

Asesor

Profesor asociado, Marcos Sandoval  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs, Dr.

---

Asesor

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

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen .....	1
Summary.....	1
Introducción .....	2
Materiales y Métodos .....	4
Resultados y Discusión .....	9
Conclusiones .....	25
Referencias .....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		<b>Página</b>
Figura 1	Acumulación de agua de riego aplicado a un cuartel con lixiviado. Se presenta acumulación de riego con los dos tratamientos de riego (Control y RDC) y su evapotranspiración de referencia durante la temporada.....	10
Figura 2	Potencial hídrico del tallo al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego Comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.....	12
Figura 3	Conductancia estomática de las hojas al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.....	13
Figura 4	Eficiencia del fotosistema II en hojas al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.....	15
Figura 5	Índice de área foliar (IAF) de plantas de cerezo adultas al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezos sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.....	16
Figura 6	Poblaciones totales de bacterias, actinobacterias y hongos, periodo 2022 y 2023.....	18
Figura 7	Poblaciones totales de azotobacter y pseudomonas en mediciones realizadas en el periodo 2022 y	20

	2023.....	
Figura 8	Poblaciones totales de bacterias solubilizadoras de fosforo y potasio y bacterias fijadoras de nitrógeno en mediciones realizadas en el periodo 2022 y 2023.....	21
Figura 9	Correlación respecto a las bacterias azotobacter (bacterias totales) analizadas en la parte microbiológica del lixiviado respecto a la materia orgánica analizada en el análisis químico del suelo.....	24
Figura 10	Análisis microbiológico del suelo en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.....	25
Tabla 1	Análisis químico del huerto con lixiviado frente a las dos condiciones de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado).....	23

## **EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA DE CEREZO BAJO RIEGO DEFICITARIO CON APLICACIÓN DE LIXIVIADOS DEL PROCESO DE LOMBRICULTURA.**

PHYSIOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF CHERRY TREES UNDER DEFICIT IRRIGATION WITH APPLICATION OF VERMICOMPOST LEACHATES.

**Palabras índice adicionales: PGPR, estrés hídrico, déficit de presión de vapor, potencial hídrico del tallo y conductancia estomática.**

### **RESUMEN**

El estudio se realizó en la comuna de San Nicolás, Región de Ñuble, Chile (36°48'17.8"S, 72°14'47.2"O), donde se tomaron mediciones desde el 13 de octubre de 2022 hasta el 2 de marzo de 2023. El estudio se llevó a cabo en un huerto comercial de cerezos (*Prunus avium* L.), cv. Lapins, injertado sobre Colt, en el cual se aplicaron lixiviados del proceso de vermicultura mediante fertirrigación. En este huerto se aplicaron dos tratamientos de riego: uno de control establecido por Agrícola Sutil y otro con riego deficitario controlado (RDC). Se midieron distintos parámetros fisiológicos: potencial hídrico (SWP), conductancia estomática (GS), índice de área foliar (IAF) y Eficiencia del fotosistema II (Fv/Fm). Además, se realizaron análisis microbiológicos del lixiviado de lombriz y análisis microbiológicos y químicos del suelo. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de riego en los parámetros de potencial hídrico y conductancia estomática ( $P < 0,05$ ). El recuento de colonias en el lixiviado de lombriz mostró poblaciones diversas, pero similares a las reportadas en estudios previos. Se observó una correlación positiva entre el total de bacterias y la materia orgánica del suelo, con un  $R^2 = 0.75$ ;  $p$ -valor  $< 0,03$  y la ecuación  $y = 1,06x + 3,21$ . No se observaron diferencias significativas en el recuento microbiológico del suelo.

### **SUMMARY**

The study was conducted in the San Nicolás Commune, Ñuble Region, Chile (36°48'17.8"S 72°14'47.2"W), where measurements were taken from October 13, 2022, to March 2, 2023. The study took place in a commercial cherry orchard (*Prunus avium* L.) cv. Lapins grafted onto Colt, in which leachates from the vermiculture process were applied via fertigation. Two irrigation events were applied in this orchard: one control event established by Agrícola Sutil and another involving a controlled deficit irrigation event (RDC). Different physiological parameters were measured: stress water potential (SWP), stomatal conductance (GS), leaf area index (IAF), and efficiency photosystem II (Fv/Fm). In addition, microbiological analysis of the vermiculture leachate and microbiological and chemical analysis of the soil were conducted. Significant differences were observed between irrigation treatments in the water potential and stomatal conductance parameters ( $P < 0.05$ ). The colony count of the vermiculture leachate showed different populations, but similar to previous studies. A positive correlation was observed between total bacteria and soil organic matter, with an  $R^2 = 0.75$ ;  $p$ -value  $< 0.03$  and the equation  $y = 1.06x + 3.21$ . No significant difference was observed in the microbiological soil count.

## INTRODUCCIÓN

El cerezo dulce (*Prunus Avium* L.), es una especie de hoja caduca originaria de la región de los mares Negro y Caspio en Europa (Richard *et al.*, 2022), que pertenece al orden Rosales de la familia de las Rosáceas (Goncalves *et al.*, 2018). En el mundo se registran más de 300.000 hectáreas plantadas con cerezo, en donde Turquía es el principal país productor de esta especie frutal con una superficie de 84.087 hectáreas (ODEPA, 2023a).

Chile se ubica en el cuarto puesto entre los países exportadores de cerezas, exportando para la temporada 2022-2023 más de 600.000 toneladas con una superficie de 63.729 hectáreas (ODEPA, 2023b). La zona productiva de Chile se encuentra en la zona centro sur del país, concentrándose más del 80% de la producción en las regiones de O'Higgins y Maule. La región de Ñuble cuenta con un 1,3 % del total de la producción en Chile, pero con una superficie de producción que ha ido progresivamente aumentando durante los últimos 5 años (ODEPA, 2023b).

A pesar de este incremento en las producciones de cereza, la fruticultura presenta una de las mayores perturbaciones que Chile debe enfrentar en la actualidad, el cual es el cambio climático. Los modelos predictivos estiman para Chile aumentos promedio de temperatura de hasta 2 °C y disminuciones en la acumulación de nieve cercanos al 40 % (Pinto-Garay, 2022). Según el modelo CMIP5, se observarán aumentos de un 8 % en la evapotranspiración de referencia y una disminución de un 19 % en las precipitaciones (Rojo-Zavala *et al.*, 2023). La combinación de estos cambios en las condiciones climáticas chilenas traerá consigo un aumento de la demanda hídrica de los cultivos, pero una disminución de la disponibilidad de agua para riego que hará que los cultivos frutales experimenten una condición de déficit hídrico durante la temporada.

Esto sumado a procesos de concientización ambiental, debido a que en muchos huertos chilenos persisten prácticas ambientalmente cuestionables. Por ejemplo, la excesiva acumulación de residuos (Amores, 2020). Este tipo de prácticas pueden generar un problema ambiental contribuyendo a la contaminación de los suelos, proliferación de enfermedades y unos de los efectos más importantes es la generación de gases de efecto invernadero, la cual puede agravar el cambio climático generando mayor estrés hídrico (Lin, 2011).

En respuesta a este complejo escenario, la fruticultura chilena ha ido paulatinamente incorporando manejos culturales que mejoren la disponibilidad de los nutrientes del suelo, aumenten la capacidad de drenaje y almacenamiento de agua y favorezcan el desarrollo de microorganismos benéficos que estimulen el crecimiento de las plantas. Uno de los manejos culturales orientados a cumplir con estos objetivos es la incorporación del vermicompostaje de residuos agrícolas (Poma *et al.*, 2019). El vermicompostaje ha sido tradicionalmente usado para la elaboración de sustratos para viveros o como mejoradores de suelos degradados. El vermicompost es el resultado de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Rincones *et al.*, 2023). El vermicompost puede ser empleado para satisfacer en parte la demanda nutritiva de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes sintéticos y aumentando la retención de

agua de los suelos, debido a sus altas concentraciones de nitrógeno, fósforo, calcio y ácidos húmicos y fúlvicos (Ebrahimi *et al.*, 2021).

Adicionalmente al uso del vermicompost, los lixiviados del vermicompostaje han despertado un gran interés, pues se ha descubierto que pueden ser empleados como abono vía fertirriego con un gran potencial de uso en sistemas de producción orgánica de cultivos bajo condiciones de invernadero u otros. Los lixiviados poseen una alta capacidad para reducir la contaminación, disminuyendo el volumen de los residuos, eliminando microorganismos patógenos y capacidad de tolerar estrés hídrico. Esto a través de diferentes efectos positivos como lo es el aporte de nutrientes que ayudan a la planta a generar raíces que ayudan a explorar mayor superficie frente la falta de agua, así como también la capacidad de termoprotección al generar secreción de enzimas que ayudan en la fotoprotección en el cierre de estomas y degradar compuestos que generan daños en el aparato fotosintético (Gupta y Garg 2017). Además, el humus producido ayuda a mejorar la calidad y fertilidad de los suelos especialmente agrícolas, permitiendo retener la humedad de los suelos.

En Chile, la investigación sobre el uso los lixiviados o exudados de lombricultura ha sido escasa, a pesar de que varias empresas agrícolas han comenzado a establecer vermicomposteras para producir lixiviados como bioestimulantes en especies frutales. Por este motivo, se realizó un estudio con el objetivo de evaluar el impacto del déficit hídrico sobre la fisiología y las propiedades químicas y biológicas del suelo en un huerto comercial de cerezos con aplicación de lixiviados de vermicompostaje en la región de Ñuble, Chile.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Material vegetal y diseño experimental**

Se estableció un ensayo en un huerto comercial de cerezo (*Prunus avium* L.) cv Lapins injertado en Colt, en la Comuna de San Nicolás, Región de Ñuble, Chile (36°48'17.8"S 72°14'47.2"W) bajo condiciones de clima mediterráneo y suelo de texturas predominantemente franco-arcillosas, de la serie Talquipén. El huerto se estableció en el año 2007, con un marco de plantación de 3,5 x 4,0 m. Las plantas

son regadas a través de una doble cinta de riego, con 100 goteros por cinta de riego, integrados a una distancia de 50 cm de cada gotero, con un caudal de 1,5 L/h. La frecuencia de riego correspondió a un día por medio con el objetivo de reponer el 100% del agua evapotranspirada por el cultivo. Los valores de  $ET_c$  se estimaron empleando la siguiente fórmula (Allen, 2000):

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Donde  $ET_c$  es Evapotranspiración de cultivo,  $ET_o$  Evapotranspiración de referencia del cultivo y  $K_c$  Coeficiente de cultivo.

En el presente estudio se utilizó un cuartel en donde se aplica en cada evento de riego y durante toda la temporada lixiviados del proceso de vermicompostaje a través del sistema de riego.

Para esto, se empleó una vermicompostera (Anexo 1) con una longitud de 6 m y un ancho de 2 m. La profundidad de la vermicompostera es de 60 cm, y fue construida con hormigón, protegida con una malla sombra al 50% en la parte superior de la vermicompostera, para así evitar el impacto de la radiación solar excesiva sobre la actividad de las lombrices rojas californianas (*Eisenia fétida*). La vermicompostera fue construida con seis divisiones, separadas por una malla. En una de las seis divisiones, se incorporaron las lombrices, mientras que en las otras cinco se depositó el alimento para las lombrices, cuya composición fue guano de bovino (*Bos taurus*) seco. A medida que las lombrices consumían el guano, estas se fueron trasladando por medio de la apertura de las mallas a nuevas divisiones de la vermicompostera en donde había guano nuevo, quedando en la primera parte el excremento de las lombrices llamado humus. Este proceso se mantuvo hasta completar la formación de humus en las seis divisiones, para luego cosechar este humus e incorporar nuevo guano en cada una de las seis divisiones de la vermicompostera. Dentro del ciclo de la transformación del guano a humus, la vermicompostera era regada dos veces por semana, con una cantidad aproximada de 1000 L por evento de riego, a través de un sistema de riego por aspersión. El agua que drenaba de la vermicompostera era acumulada en un estanque de 5000 L, en donde los lixiviados eran diluidos con 2000 L de agua quedando en una relación de 1:2, para, posteriormente, ser aplicarlos vía fertirriego a partir del mes

de septiembre hasta finales de temporada (mayo).

Se aplicaron dos tratamientos de riego. Un tratamiento de riego convencional (CONTROL), el cual siguió las directrices comerciales de esta práctica, y un tratamiento de riego deficitario controlado (RDC), en donde se regó de manera convencional hasta principios de enero, cuando se cortó por completo la aplicación de agua de riego hasta que las plantas exhibiesen un potencial hídrico del tallo representativo de un estrés hídrico severo (entre -1,0 y -1,5 MPa). Los tratamientos de riego fueron aplicados desde el 19 de enero del 2022 y terminaron el 22 de marzo del 2022. Las diferentes cantidades de agua fueron aplicadas por medio del cierre o apertura de una válvula en el inicio de las líneas de riego.

Se aplicó un diseño de bloque completamente al azar con 3 repeticiones (Anexo 2). Los tratamientos fueron aplicados en 3 hileras contiguas, pero la evaluación y medición se realizaron solo en la hilera central al igual que en la planta central, para evitar efectos bordes. Los bloques estuvieron separados por 3 hileras uno del otro.

### **Mediciones fisiológicas**

Se midieron diferentes parámetros fisiológicos en la temporada, entre las 11:00 y las 16:00 hrs, debido a que en este período del día las plantas presentan su máximo nivel de estrés hídrico. La evaluación de estos parámetros permitió evaluar los efectos que tuvo la aplicación de los lixiviados del vermicompostaje sobre la fisiología de la planta. Los parámetros evaluados fueron:

**Potencial Hídrico del tallo (SWP).** Fue medido con una cámara de presión (PMS 615, PMS Instruments, WA, EEUU), la cual nos indicó la severidad del estrés hídrico de la planta. Para realizar esta medición se utilizó una hoja adulta a la sombra, sin síntomas visibles de daño por estrés biótico y abiótico, previamente cubierta con una bolsa opaca y hermética al menos durante 40 minutos. Esta hoja fue elegida al azar en el tercio inferior del dosel de la planta.

**Conductancia Estomática (GSW).** Se realizaron las mediciones una vez a la semana, simultáneamente a las de potencial hídrico del tallo, con un porómetro de estado estacionario (Li-cor 600, Li-cor instruments, Nebraska, EEUU) en 3 hojas elegidas al azar en la parte superior del dosel de la planta, completamente expuestas al sol, sanas, sin indicios de estrés abiótico y biótico.

**Eficiencia del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ).** Se empleó un fluorímetro (Pocket PEA, Hansatech instruments, EEUU), el cual permitió evaluar la eficiencia del fotosistema II como indicador de fotoinhibición. Para esto se oscureció completamente la muestra con una pinza al menos por 40 minutos en una hoja con disposición al sol, sin aparente daño por estrés abiótico y biótico del árbol.

**Índice de área foliar (LAI).** Se midió el índice de área foliar con un ceptómetro (LP-80, Decagon Instruments, WA, EEUU), el cual calcula el índice de área foliar en base a medidas de la radiación solar en el rango fotosintéticamente activo (PAR). Se realizaron cuatro mediciones bajo el dosel, separadas 0,5 m desde el borde del tronco hacia la entrehilera y una medición sobre el dosel.

### **Colecta de suelo y análisis de laboratorio**

Se colectaron muestras de suelo al finalizar la temporada en los 3 bloques, a través de calicatas realizadas en ambos tratamientos de riego, a una profundidad de 1 metro. Estas fueron depositadas en bolsas plásticas, rotuladas y mantenidas en una cámara refrigerantes a 24 °C, para su análisis en el laboratorio de suelos y plantas de la Universidad de Concepción Campus Chillan.

### **Recuento de poblaciones microbianas**

A partir de cada muestra de suelo, se pesó una sub-muestra de 10 g y se disolvió en 100 mL de solución salina estéril (0,89 % NaCl). A partir de esta sub-muestra, se realizaron diluciones en serie hasta llegar a una concentración de  $10^{-5}$ .

A partir de las suspensiones de suelo libre, se realizó un recuento de los siguientes grupos microbianos en placa, cada uno en su respectivo medio selectivo. Todos los medios de cultivos fueron preparados en agua desionizada y esterilizados en autoclave a 120 °C a 1 atm de presión por 20 minutos. Una vez esterilizados, se distribuyeron en placas Petri, depositando 10 ml de medio en cada una en condiciones de asepsia en una cámara de flujo laminar. La metodología utilizada en el recuento de todas las poblaciones fue similar y se basó en la distribución de una alícuota de 100  $\mu$ L de cada dilución de forma superficial en el agar, utilizando una varilla de vidrio estéril. Las placas se incubaron a  $25 \pm 2$  °C en oscuridad.

Con los mismos medios selectivos descritos anteriormente se realizó un recuento de poblaciones microbianas en muestras del lixiviado de lombriz, la cual

consta de 3 frascos estéril con 100 mL del lixiviado el cual se encontró en un recipiente ya diluido en una proporción de cada 2000 L de agua: 1000 L de lixiviado. Este procedimiento será repitió 5 veces para analizar su estabilidad durante la temporada.

De acuerdo a los microorganismos de interés que se identifiquen a partir del lixiviado y posterior recuento, se prepararon medios de cultivo, según se describe a continuación:

**Bacterias mesófilas aerobias y anaerobias facultativas:** Se preparó el medio de Thornton, cuya composición química es la siguiente: 1 g/L  $K_2HPO_4$ , 0,2 g/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0,1 g/L  $CaCl_2$ , 0,1 g/L NaCl, 0,002 g/L  $FeCl_3$ , 0,5 g/L  $KNO_3$ , 0,5 g/L asparragina, 1 g/L manitol, 1,5 % (p/v) agar, 1.000 mL agua.

**Bacterias mesófilas anaeróbicas estrictas.** Se utilizó el medio Agar nutritivo estándar (MERCK). Las placas se incubaron en condiciones anaeróbicas usando una cámara GasPak™ EZ Anaerobe Container System Sachets.

**Hongos filamentosos mesófilos.** Se preparó el medio de Martin, cuya composición química es la siguiente: 10 g/L dextrosa, 5 g/L peptona, 1 g/L  $KH_2PO_4$ , 0,5 g/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 35 mg/L rosa de bengala (1:30.000), 2 % (p/v) agar, 10 mL cloranfenicol, 1.000 mL agua destilada, pH 6.

**Actinobacterias.** Se preparó el medio de Jensen, cuya composición química es la siguiente: 2 g/L dextrosa, 0,2 g/L caseína (disolver en 10 ml de 0,1N NaOH), 0,5 g/L  $K_2HPO_4$ , 0,2 g/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , trazas  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , 2,5% (p/v) agar, 1.000 mL agua destilada, pH 6,5-6,6.

**Bacterias solubilizadoras de potasio.** Se utilizó el medio Agar Pikovskaya, cuya composición química es la siguiente: dextrosa 55 mM;  $Ca_3(PO_4)_2$  16,1 mM; KCl 2,68 mM;  $(NH_4)_2SO_4$  3,784 mM;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0,406 mM; extracto de levadura 0,05 % (p/v);  $MnSO_4$  trazas  $6,621 \times 10^{-4}$  mM;  $FeSO_4$  trazas  $6,575 \times 10^{-4}$  mM; agar 1,5 % (p/v); agua destilada 1.000 mL. El pH del medio se ajusto a 7,3, previo a la esterilización en autoclave.

**Bacterias *Azotobacter* spp.** Se preparó el medio LG, cuya composición química es la siguiente: 20 g/L sacarosa, 0,05 g/L  $K_2HPO_4$ , 0,15 g/L  $K_2HPO_4$ , 0,01 g/L  $CaCl_2$ , 0,2 g/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0,002 g/L  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ , 0,01 g/L  $FeCl_2$ , 2 mL azul de

bromotimol (solución 0.5 % en etanol), 1 g/L CaCO<sub>3</sub>, 1,5 % (p/v) agar, 1.000 mL agua destilada, pH 6,8.

**Bacterias *Pseudomonas* spp.** Se preparó medio de King-B, cuya composición química es la siguiente: 2 % (p/v) proteasa peptona; 1,5 % (p/v) agar; 8,614 Mm K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O; 6,08 mM MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 1 % (v/v) glicerol, 1.000 mL agua destilada, pH 7,2.

**Bacterias fijadoras de nitrógeno.** Se inoculó placas de Agar Burk, cuya composición química es la siguiente: 4,593 mM K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1,469 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,811 mM MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,367 mM CaSO<sub>4</sub>, 0,329 mM FeSO<sub>4</sub>, 4,856 x 10<sup>-3</sup> mM Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, 4,674 mM sacarosa, 1,5 % (p/v) agar, 1.000 mL agua destilada, pH 7,4.

**Bacterias solubilizadoras de fosfatos.** Se utilizó el medio Agar Pikovskaya, cuya composición química es la siguiente: dextrosa 55 mM; Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 16,1 mM; KCl 2,68 mM; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3,784 mM; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0,406 mM; extracto de levadura 0,05 % (p/v); MnSO<sub>4</sub> trazas 6,621 x 10<sup>-4</sup> mM; FeSO<sub>4</sub> trazas 6,575 x 10<sup>-4</sup> mM; agar 1,5% (p/v); agua destilada 1.000 mL. El pH del medio se ajustó a 7,3, previo a la esterilización en autoclave.

### **Análisis de datos**

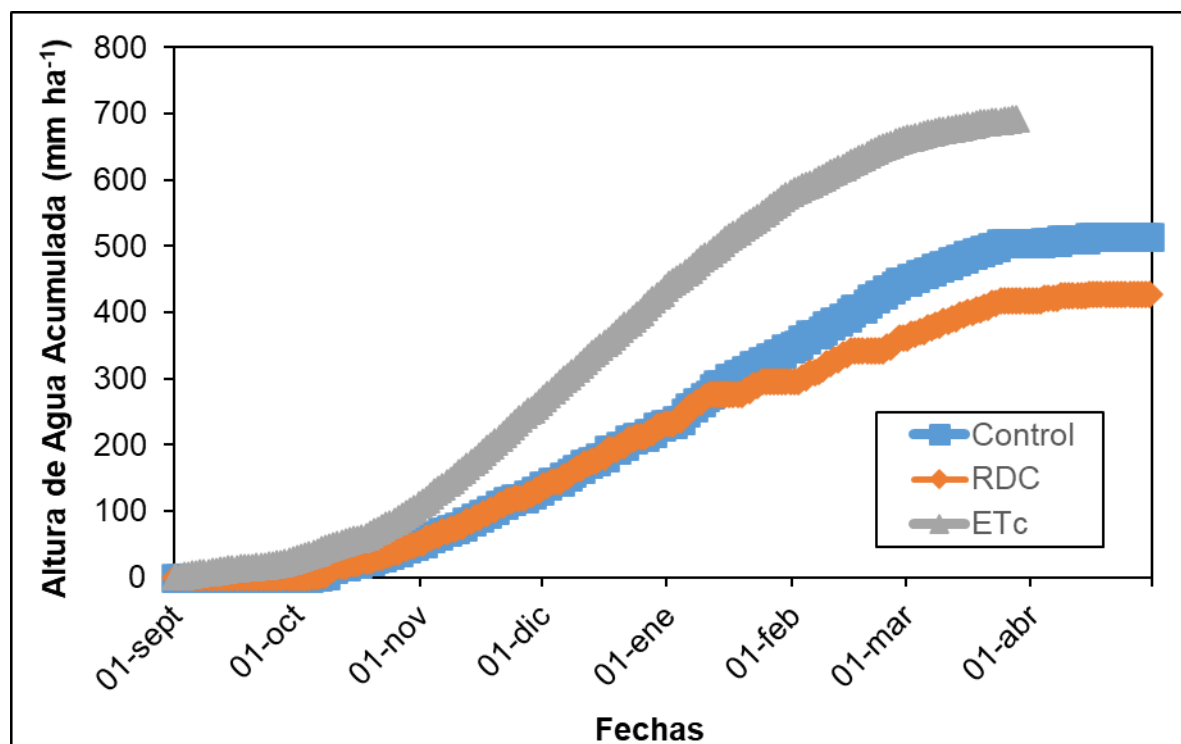
Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANDEVA) después de probar la distribución normal de errores (Shapiro-Wilks), homogeneidad de varianzas (Levene) y aditividad de efectos (Tukey). Las diferencias entre medias se determinaron mediante la prueba LSD a un nivel de significancia del 95 % ( $p \leq 0,05$ ). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS Studio (SAS Institute, Cary, NC, EE. UU.).

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN:**

La cantidad de agua acumulada aplicada vía riego al tratamiento Control fue un 27,2 % menor que la cantidad de agua evapotranspirada (ETc) por el cultivo. Este déficit con respecto al ETc comenzó al iniciar la temporada y se mantuvo hasta finalizar el periodo de evaluaciones. En general, los huertos adultos de cerezo con similares marcos de plantación suelen ser regados con cantidades de agua entre 900 y 1000 mm por temporada (Diaz *et al.*, 2019). Esto quiere decir, que la cantidad de agua

que fue aplicada durante toda la temporada a las plantas Control fue deficitaria en relación al  $ET_c$  y a la cantidad de agua usualmente aplicada a huertos en cerezo en clima mediterráneo. Adicionalmente, la aplicación del tratamiento RDC indujo un ahorro de agua, en comparación con el tratamiento Control de 17% lo cual equivale a un 38 % de deficit con respecto al 100% de  $ET_c$ .

Figura 1. Acumulación de agua de riego aplicado a un cuartel con lixiviado. Se presenta su respectiva acumulación de riego con los dos tratamientos de riego (Control y RDC) y su evapotranspiración de referencia durante la temporada.



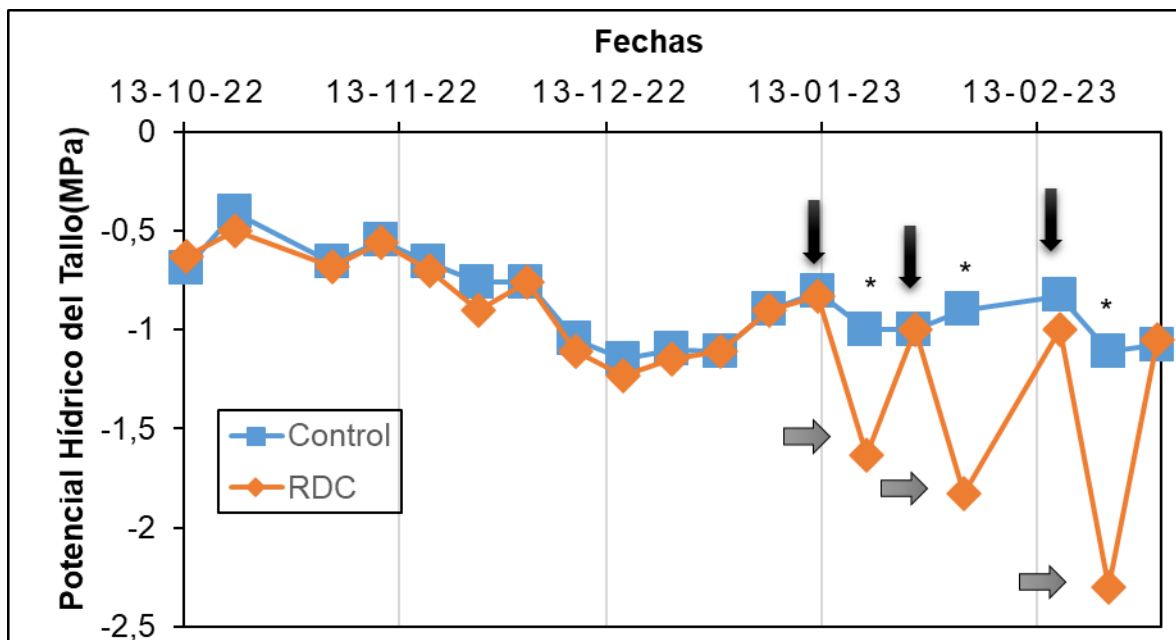
### Potencial hídrico del tallo

No se detectaron diferencias significativas en el potencial hídrico del tallo antes de la aplicación de los tratamientos de riego (durante la segunda semana de enero) (Figura 2). Para el primer corte de riego, las plantas RDC alcanzaron un potencial hídrico del tallo de -1,6 MPa, lo cual representa un estrés hídrico severo para cerezo (Blanco *et al.*, 2021), siendo significativamente distinto al potencial hídrico del tallo del tratamiento Control. Se observó una rápida recuperación del estado hídrico de las plantas con RDC una vez rehidratadas, registrando un valor promedio similar al

de las plantas Control de -1,0 MPa, el cual se considera como representativo de condiciones hídricas óptimas para cerezo (Blanco *et al.*, 2021). Para el segundo corte de riego, las plantas con RDC se estresaron más severamente que para el corte de riego anterior, alcanzando un potencial hídrico del tallo de -1,8 MPa. Una vez reanudado el riego, el potencial hídrico del tallo de ambos tratamientos volvió a ser similar (-1,2 MPa). Para el tercer corte de riego, se registró el menor potencial hídrico del tallo de la temporada en las plantas con RDC, el cual fue de -2,3 MPa. Este nivel de estrés hídrico es especialmente perjudicial para la fisiología del cerezo, dado que valores inferiores a -1,5 MPa pueden comprometer procesos esenciales como la fotosíntesis, el intercambio gaseoso y el mantenimiento de la turgencia celular (Blanco *et al.*, 2021).

En ciruelo (*Prunus domestica* L.), Castillo y Toaquiza (2023) mostraron que la aplicación de lixiviados del vermicompostaje vía fertirriego por un periodo de dos años consecutivos promovió el crecimiento pivotante de la raíz y estimuló en un 20% el desarrollo de raíces secundarias y de pelos radicales, optimizando la capacidad de las plantas para explorar el suelo y absorber agua. En olivos (*Olea europea* L.) regados deficitariamente, Rehman *et al.* (2023) mostraron que la aplicación por tres años consecutivos de lixiviados del proceso de lombricultura aumentó en un 15% el potencial hídrico del tallo, en relación a plantas sin aplicación de lixiviados. El impacto del lixiviado sobre el estado hídrico de las plantas de olivos se asoció a incrementos en la retención de agua del suelo y disminuciones del potencial osmótico de las raíces. En el presente estudio, los lixiviados del vermicompostaje fueron aplicados tan sólo tres meses antes de cortado el riego en las plantas bajo RDC. Consecuentemente, la exposición del huerto de cerezos a los lixiviados no fue superior a un 10 % del tiempo total de exposición registrado en estudios previos en frutales. Esto significa que el tiempo de acción del lixivado sobre complejo suelo-planta en el huerto de cerezos pudo haber sido insuficiente para estimular un desarrollo radical que evitara la ocurrencia de un estrés hídrico severo al cortar el agua de riego. Esto sugiere la necesidad de que este tipo de estudios consideren un tiempo de evaluación superior a una temporada.

Figura 2. Potencial hídrico del tallo al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.



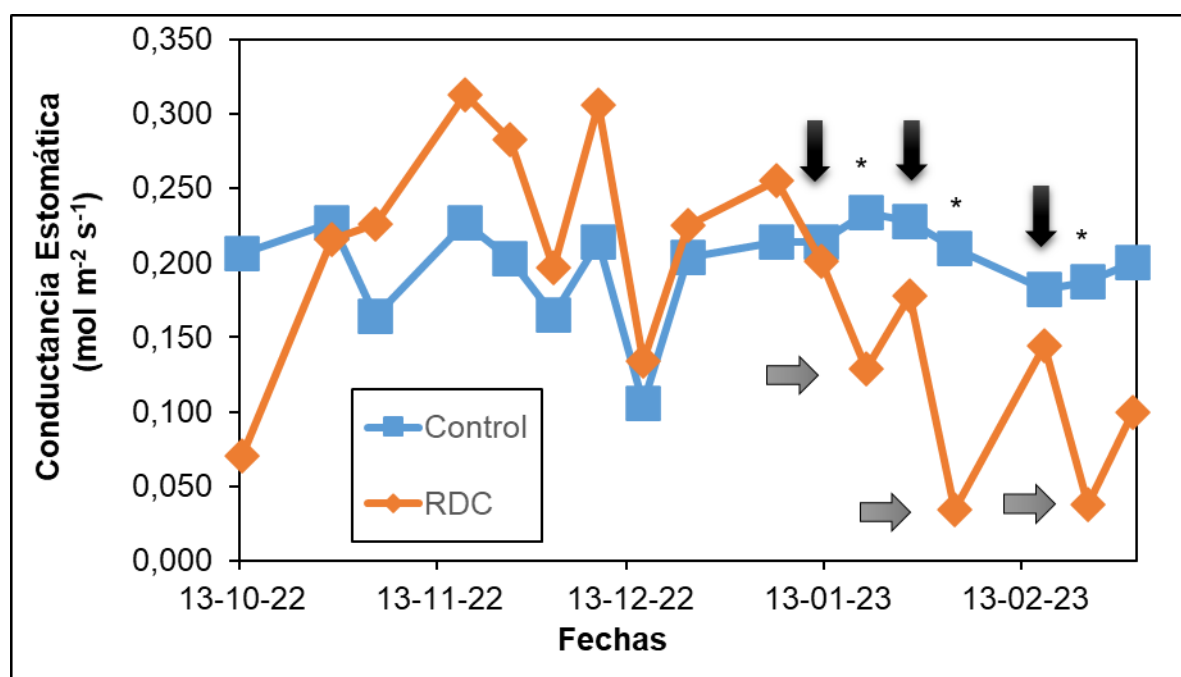
\* representan diferencias significativas entre tratamiento de riego. Barras de error representan 1 e.s. Flechas negras indican las fechas de corte de riego. Flechas grises indican las fechas de reanudación del riego. Asteriscos indican diferencias significativas entre los tratamientos de riego al 95% de confianza (DMS); N=3

### Conductancia estomática (GSW).

Al inicio de las mediciones, y antes de comenzar el tratamiento de RDC, la gsw de las hojas fue similar para ambos tratamientos de riego, exhibiendo un rango que fluctuó entre los 0,16 y 0,31 mol/m<sup>2</sup>s (Figura 3). La disminución de gsw al aumentar la severidad del estrés hídrico en cultivos frutales es una respuesta fisiológica que ha sido ampliamente investigada en diversas especies. Entre los efectos más importantes asociados a una reducción de gsw está la disminución de la tasa transpiratoria y la disipación de calor de las hojas, debido a un menor enfriamiento por evaporación del agua (Blaya Roz *et al.*, 2021a). En cerezos, se han reportado disminuciones de hasta un 50 % de la fotosíntesis debido a una disminución de hasta un 30 % de la gsw en plantas hídricamente estresadas (Díaz *et al.*, 2019). En el presente estudio, se observó un descenso significativo en la gsw del tratamiento con RDC después del primer corte de riego, desde un máximo de 0,2 mol/ m<sup>2</sup>s a un

valor mínimo de  $0,13 \text{ mol/m}^2\text{s}$ . Por el contrario, para la misma fecha de medición, las planta Control presentaron valores cercanos a  $0,23 \text{ mol/m}^2\text{s}$ . Plantas de cerezo bajo una severidad de estrés hídrico similar a la de este estudio ( $-1,4 \text{ MPa}$ ) exhibieron valores de gsw cercanas a  $0,19 \text{ mol/m}^2\text{s}$ , mientras que plantas bajo un riego convencional y sin estrés hídrico exhibieron una gsw aproximada a  $0,35 \text{ mol/m}^2\text{s}$  (Blanco *et al.*, 2020).

Figura 3. Conductancia estomática de las hojas al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.



\* representan diferencias significativas entre tratamiento de riego. Barras de error representan 1 e.s. Flechas negras indican las fechas de corte de riego. Flechas grises indican las fechas de reanudación del riego. Asteriscos indican diferencias significativas entre los tratamientos de riego al 95% de confianza (DMS); N=3.

El hecho que dos estudios en cerezos bajo condiciones climáticas de tipo Mediterráneo y una severidad de estrés hídrico similar hayan mostrado una caída de gsw cercana a un 45 % sugiere que la aplicación del lixiviado del vermicompostaje no trajo consigo cambios en la relación entre estrés hídrico y apertura estomática. Una semana después de haber aplicado el segundo y el tercer

corte de riego, el tratamiento con RDC obtuvo valores de gsw aún más bajos que los reportados para el primer corte de riego (0,035 mol/m<sup>2</sup>s.), lo cual ratifica el nulo impacto de la aplicación de lixiviados sobre la gs de plantas con RDC. Estos resultados contrastan con lo reportado por Maraña et al (2018), quienes reportaron un aumento de hasta un 25 % en la gsw de plantas de avellano (*Corylus avellana* L.) después de la aplicación continua de lixiviados del vermicompostaje al 30 % de concentración durante dos temporadas. Estos resultados confirman que la acción de los lixiviados sobre la fisiología de las plantas requiere de un tiempo de exposición mayor a una temporada.

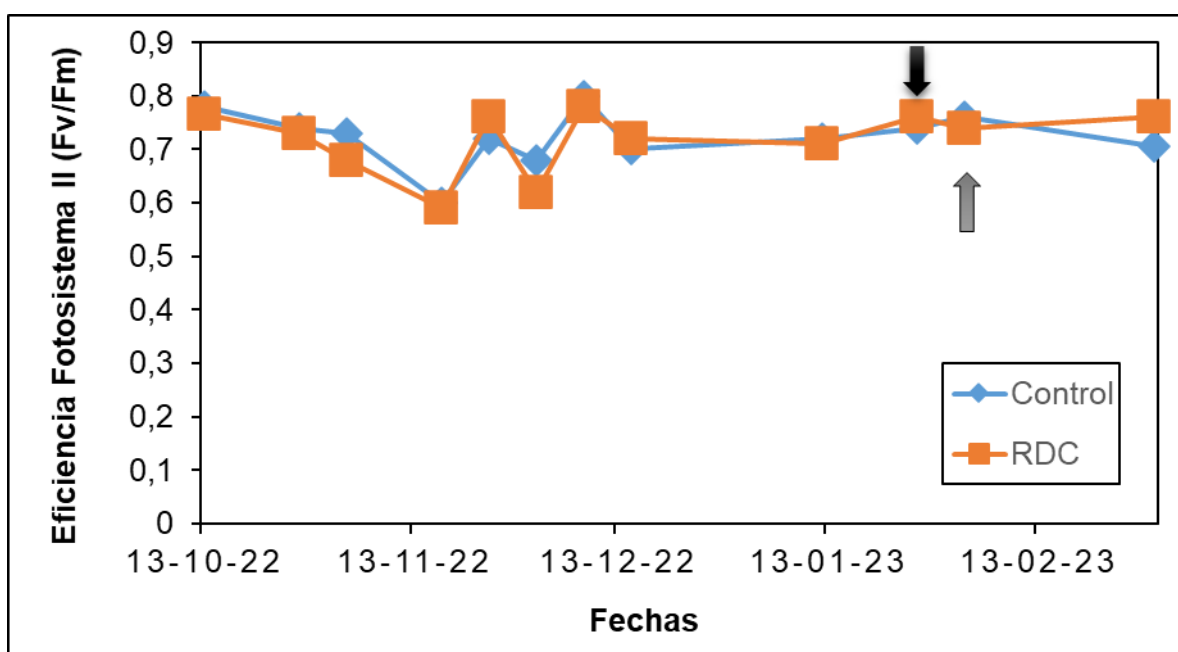
### **Eficiencia Fotosistema II (Fv/Fm)**

A pesar de que las plantas con aplicación de RDC alcanzaron una alta severidad de estrés hídrico (SWP entre -1,4 y -2,0 MPa) en tres oportunidades, los valores de Fv/Fm se mostraron relativamente estables y sin ningún tipo de diferencia significativa entre los tratamientos de riego (Fv/Fm entre 0,6 y 0,75). Estos resultados difieren de lo reportado por Blanco *et al* (2021), en donde hojas de plantas de cerezo severamente estresadas (SWP de -2,0 MPa) registraron un Fv/Fm de 0,7, mientras que aquellas bajo riego convencional mostraron valores superiores a 0,85. Cuando el Fv/Fm disminuye en un 20 % se pueden producir caídas de hasta un 30 % en la capacidad fotosintética del cerezo (Blaya Ros *et al.*, 2021b).

La aplicación de lixiviados de lombricultura en cultivos frutales ha mostrado tener efectos sobre parámetros fisiológicos que pueden aumentar los valores de Fv/Fm, tales como la concentración de pigmentos fotosintéticamente activos o sustancias reactivas al oxígeno. Por ejemplo, en cerezo, Montenegro *et al* (2020) mostró que la aplicación vía fertirriego de lixiviados de lombricultura aumentó la concentración de clorofila, flavonoides y nitrógeno en las hojas. En avellano (*Corylus avellana* L.), Dehmordy *et al.* (2018) mostró que tras la aplicación de lixiviados del proceso de lombricultura se detectaron aumentos en la concentración de enzimas que descomponen especies reactivas al oxígeno (ROS) asociadas a disminuciones en Fv/Fm, tales como el superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD) y catalasa (CAT).

El hecho que no se hayan registrado diferencias en Fv/Fm entre tratamientos de riego, a diferencia de lo reportado en otros trabajos en cerezo, sugiere que la aplicación de lixiviados pudo haber inducido una mayor síntesis de clorofila o de aquellas enzimas que reducen el daño oxidativo al aparato fotosintético causado por la ocurrencia de un estrés hídrico severo.

Figura 4. Eficiencia del fotosistema II en hojas al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.



Barras de error representan 1 e.s. Flecha negra indica la fecha del segundo corte de riego. Flecha gris indican las fechas de reanudación del riego.

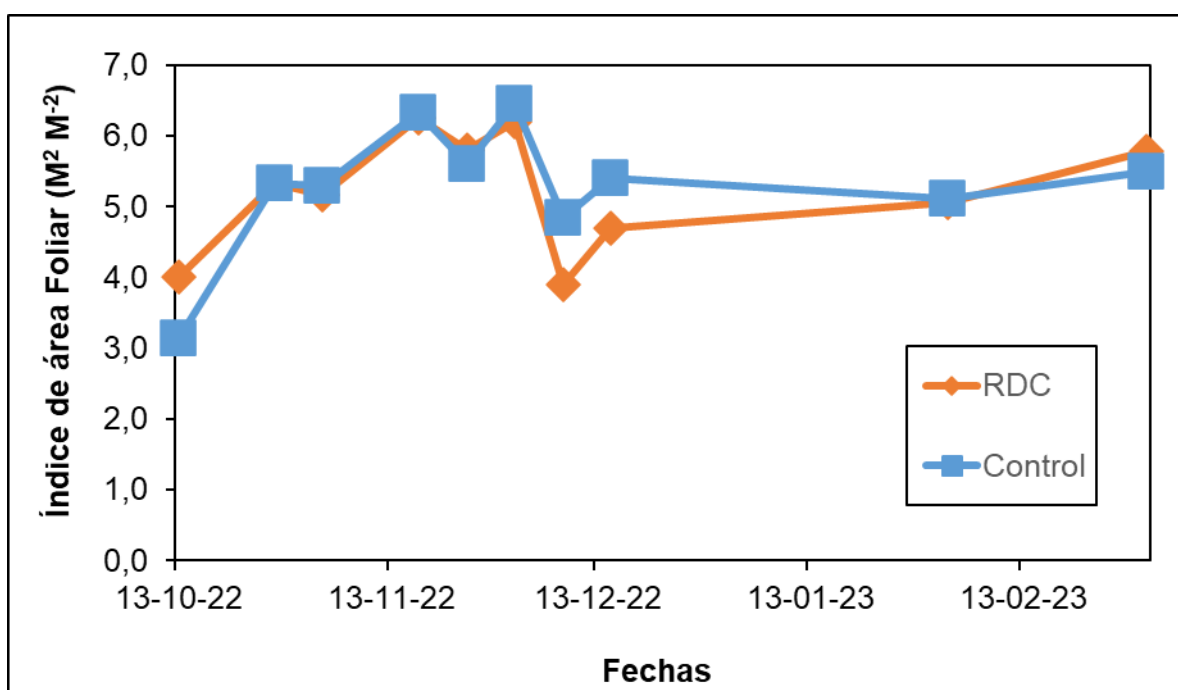
### Índice de área foliar (IAF)

Se observaron aumentos progresivos en los valores de IAF al comienzo de la temporada, lo cual es de esperarse, debido al crecimiento de órganos florales y vegetativos durante los meses de primavera. En la sexta medición, 01 de diciembre, se registró el máximo valor promedio de IAF en ambos tratamientos (IAF de 6,2 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>).

Según Ávila y Hernández (2016) un huerto de cerezo cv. Lapins con el mismo sistema de conducción en eje central y similar marco de plantación suele presentar

un IAF máximo antes de cosecha de cercano a  $5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Por lo tanto, los valores de IAF máximos alcanzados en este estudio pueden ser considerados como altos en relación con lo usualmente encontrado en la literatura. Debido a que la cosecha de la fruta se realizó entre la primera y segunda semana de diciembre, se observó una caída cercana al 15 % del área foliar, esto debido a la cosecha realizada en estas fechas.

Figura 5. Índice de área foliar (IAF) de plantas de cerezo adultas al medio día (12:00-15:00 hrs) en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control: Riego comercial; RDC: Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.



Barras de error representan 1 e.s.

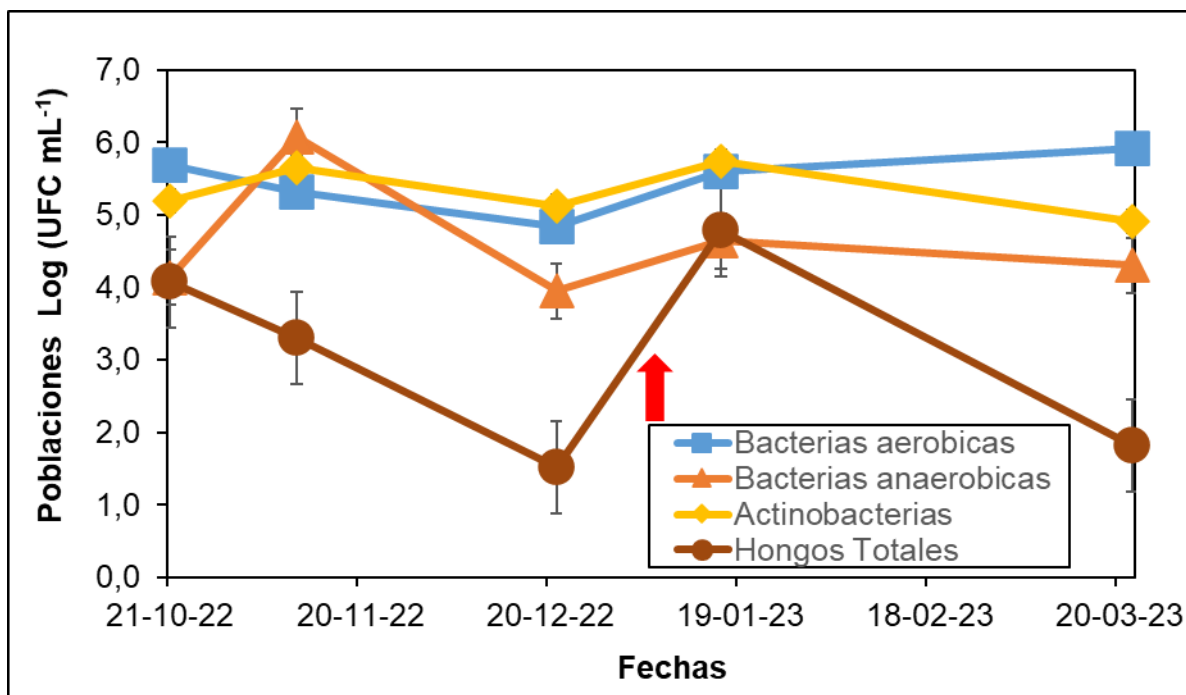
Después de cosecha se observó un incremento progresivo del IAF, llegando casi a un IAF promedio casi de  $6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  en la última medición de la temporada, independiente del tratamiento de riego. En ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.), Duchén y Torres (2021) mostraron que, al aplicar lixiviados del proceso de lombricultura por tres años, se observaron aumentos en IAF después de cosecha. Este efecto se asoció a que dichos lixiviados poseen características y complementos tanto nutricionales como bacterianos (bacterias fijadoras de

nitrógeno, descomponedoras de materia orgánica, entre otras), que aumentaron el número de hojas y brotes después de la cosecha.

### **Recuento poblaciones microbianas del lixiviado**

Respecto a las mediciones microbiológicas realizadas sobre los lixiviados durante cinco meses, se observó que las bacterias aeróbicas mostraron valores relativamente altos y estables en el tiempo, fluctuando entre  $10^5$  y  $10^6$  unidades formadoras de colonia por mL de producto (UFC mL<sup>-1</sup>) (Figura 6). Las bacterias aeróbicas requieren oxígeno para sostener su actividad metabólica y su importancia en agricultura radica en que muchas de ellas tienen una acción benéfica para las plantas. Por ejemplo, las bacterias aeróbicas son clave para el proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo y mejorar la disponibilidad de nutrientes. Si bien la presencia de bacterias aerobias durante todo el proceso de vermicompostaje, se puede asociar a una adecuada aireación (Valenzuela *et al.*, 2020), es importante señalar que en este grupo también están incluidas bacterias anaerobias facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como ausencia de oxígeno (Romero-Bastidas *et al.*, 2025).

Figura 6. Poblaciones totales de bacterias, actinobacterias y hongos, periodo 2022 y 2023.



Barras de error representan 1 e.s. Flecha roja indica cosecha del humus y la nueva incorporación de guano a la vermicompostera.

Al analizar la dinámica poblacional de las bacterias anaeróbicas durante la temporada, se observó que este grupo mostró un crecimiento considerable en los valores de UFC durante el primer mes de seguimiento. Posteriormente, los valores de UFC bajaron y se mantuvieron cercanos a  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup>. Según Valenzuela *et al.* (2020), estos valores de UFC representarían una moderada cantidad de bacterias anaerobias, las cuales tienen un rol importante en la degradación de la materia orgánica en condiciones de falta de oxígeno en los suelos.

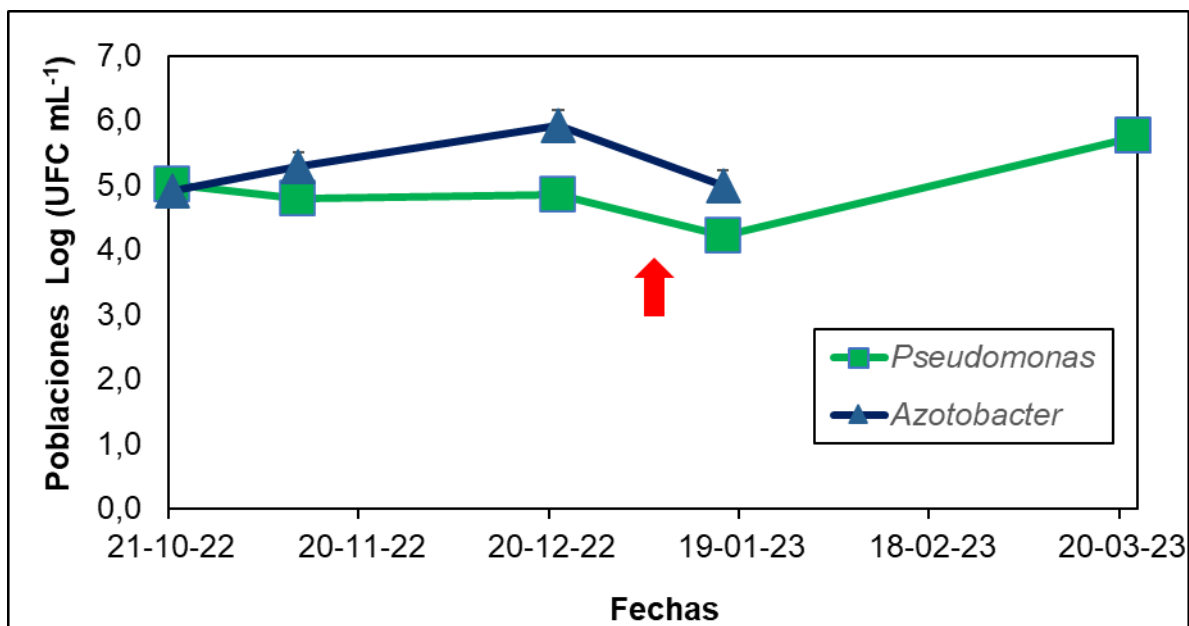
Las poblaciones de actinobacterias mostraron una tendencia a estabilizarse dentro de un rango entre  $10^5$  y  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup>. Es importante señalar que las actinobacterias corresponden a un grupo bacteriano que se caracteriza por su capacidad de producir enzimas y de degradar la materia orgánica, hemicelulosa y lignina (Barka *et al.*, 2016). Los valores de UFC para este grupo bacteriano representarían cantidades moderadas a altas, lo cual sería beneficioso para el suelo.

Por otro lado, los hongos mostraron la mayor variabilidad en los valores de UFC durante la temporada entre los microorganismos analizados en el presente estudio, ente  $10^1$  y  $10^5$  UFC mL<sup>-1</sup>. La cantidad de hongos mostró un rápido decaimiento de su población entre eventos de aplicación de guano. Por ejemplo, al momento de la

nueva incorporación de guano, este grupo alcanzó los máximos valores de UFC de la temporada, para, luego de un tiempo bajar drásticamente hasta los valores mínimos. Los hongos son microorganismos heterótrofos que consumen el carbono hasta que este desaparece. Durante el vermicompostaje, la cantidad de carbono en el material orgánico disminuye debido a la actividad metabólica de las lombrices y microorganismos. Estos organismos descomponen la materia orgánica, liberando carbono en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y, en menor medida, metano ( $\text{CH}_4$ ) durante el proceso de respiración. El hecho que los hongos hayan mostrado una disminución sustancial en su población hasta la fecha de su cosecha y nueva incorporación de guano respondería a la disminución del carbono propio del vermicompostaje (Domínguez *et al.*, 2019). Además, los hongos filamentosos son aerobios estrictos, lo que podría explicar la disminución en su población en condiciones de fermentación, así como también el descenso de los hongos totales asociados a la disminución natural del carbono durante el vermicompostaje también pudo estar relacionado con la drástica caída de los niveles poblacionales antes de renovar el guano en la vermicompostera (Paul, 2015).

Las poblaciones de *Pseudomonas* spp mostraron un nivel inconsistente durante las mediciones. Para la primera aplicación de guano, los valores de UFC tendieron a disminuir con el tiempo, mientras que, para la segunda aplicación, la población aumentó. Las cantidades moderadas encontradas de bacterias del género *Pseudomonas* spp indican que estas pudiesen haber tenido un impacto benéfico al prevenir enfermedades, aumentar el rendimiento de los cultivos e incluso generar la capacidad de tolerar estrés hídrico y estrés por salinidad (Ghazy y Nahrawy, 2021).

Figura 7. Poblaciones totales de *Azotobacter* y *Pseudomonas* en mediciones realizadas en el periodo 2022 y 2023.



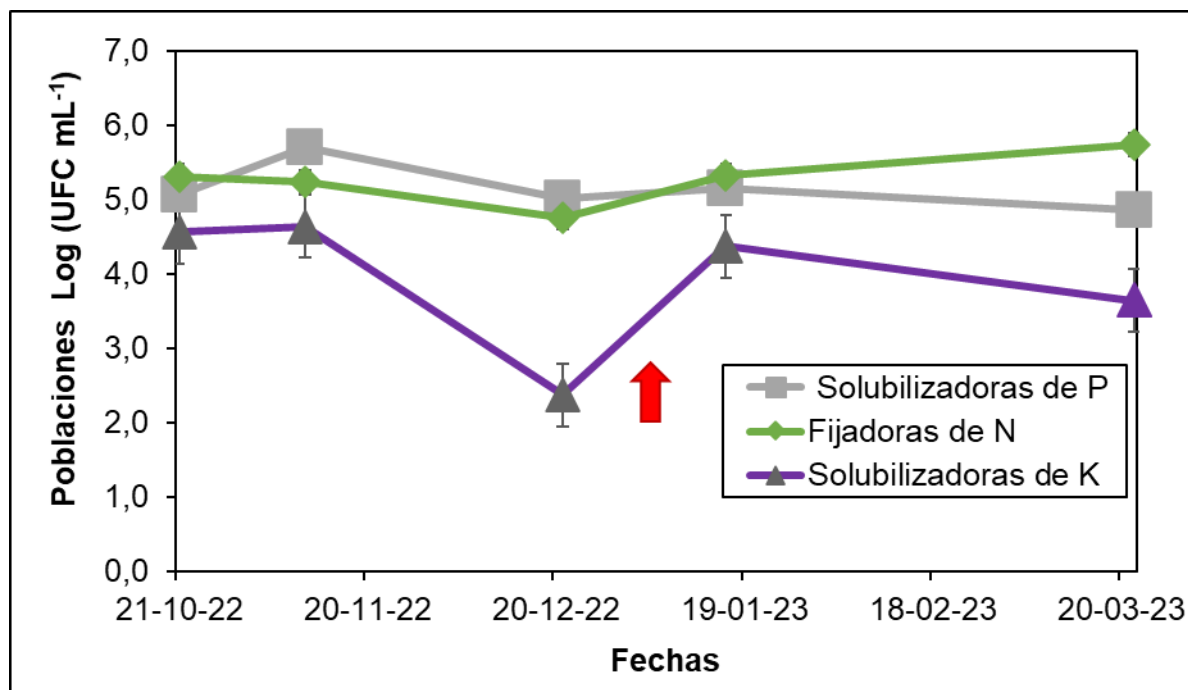
Barras de error representan 1 e.s. Flecha amarilla indica la fecha de cosecha del humus y la nueva incorporación de guano a la vermicompostera.

Las poblaciones de bacterias del género *Azotobacter* spp. aumentaron los dos primeros meses de la temporada de mediciones, cercanas a  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup>. Sin embargo, en la medición previa a la incorporación de nuevo guano se observó que la población se redujo fuertemente a un UFC de  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup>. A pesar de que el vermicompostaje es un proceso en que la temperatura de la materia orgánica generalmente disminuye en comparación con el compostaje tradicional. La disminución de la población a medida que la temporada avanzó se pudo asociar al aumento de la temperatura ambiental al acercarse al mes de enero, que es cuando suelen presentarse las máximas temperaturas del aire de la temporada (sobre 30 °C). En este contexto, las bacterias del género *Azotobacter* spp., si bien tienen la capacidad de formar quistes, no son capaces de tolerar altas temperaturas (Sumbul *et al.*, 2020). Adicionalmente, su crecimiento óptimo se observa en medios con concentraciones de carbono entre 0.5 % y 2 % (peso/volumen), dependiendo de la especie y las condiciones ambientales (Pérez *et al.*, 2020).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno y fósforo mostraron un comportamiento relativamente estable dentro de la temporada fluctuando entre  $10^5$  y  $10^6$  UFC/mL, en donde no afectó en mayor proporción la cosecha de humus y la incorporación nuevamente de guano. Este rango de valores es moderado-alto, por lo cual se

esperaría que estas bacterias pudiesen fijar el nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo y promover el crecimiento vegetal.

Figura 8. Poblaciones totales de bacterias solubilizadoras de fosforo y potasio y bacterias fijadoras de nitrógeno en mediciones realizadas en el periodo 2022 y 2023.



Barras de error representan 1 e.s. Flecha amarilla indica la fecha de cosecha del humus y la nueva incorporación de guano a la vermicompostera.

La falta de fuentes de carbono orgánico limita el crecimiento y la actividad de las bacterias solubilizadoras de potasio, las cuales mostraron un gran desbalance a lo largo de las 5 mediciones, bajando desde  $10^5$  hasta  $10^2$  UFC mL<sup>-1</sup>. Esto sería perjudicial desde una perspectiva de calidad microbiológica del lixiviado, pues es necesario que su población sea alta a lo largo de la temporada para apoyar con el suplemento de potasio a la planta, especialmente cuando los huertos están sometida a niveles de estrés hídrico severos (Palma y Barcos, 2022). El potasio es un osmolito activo, y es un elemento clave para mantener el crecimiento expansivo a través del ajuste osmótico de las células sometidas a un estrés hídrico severo.

### **Análisis químico del suelo**

En huertos de frutales adultos, el porcentaje de materia orgánica adecuado en el suelo generalmente es mayor a 1,5 %, en donde los niveles de nitrógeno deben

estar entre los 20 y 40 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que los niveles de fósforo y potasio deben ser mayores a 15 mg kg<sup>-1</sup> y 0,3-0,5 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. (Hirzel y Walter, 2007). Este rango de materia orgánica suele estar asociado al mantenimiento de una buena estructura del suelo, una alta retención de humedad y disponibilidad de nutrientes. En el presente estudio, los porcentajes de materia orgánica estuvieron en el rango óptimo, lo cual es positivo y sugiere que la aplicación del lixiviado no promovió, al menos, la pérdida de materia orgánica por respiración microbiana. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego, pero las plantas con aplicación de RDC exhibieron un 6% menos de materia orgánica en sus suelos. Esto pudo estar asociado al impacto de la falta de riego sobre la aplicación de materia orgánica a través del lixiviado, pues este era aplicado vía fertirriego durante toda la temporada.

Respecto a los niveles de nitrógeno, estos fueron bajos respecto a los niveles óptimos requeridos en la fertilización de suelo, lo que sugiere que el lixiviado del proceso de lombricultura no aportó mayormente la incorporación de elementos nitrogenados, al menos por el período de tiempo de la investigación. Al ser cerezos del año 2008 ya alcanzaron su proceso de madurez consiguiendo el equilibrio de la planta, por lo que los requerimientos de nitrógeno son solo para los procesos de fruta y renovación de madera fructífera (Hirzel *et al.*, 2020). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego, aunque las plantas Control mostraron un 6% más de nitrógeno en el suelo. Esto puede estar asociado a la incorporación por mayor tiempo y en mayor frecuencia que el tratamiento con aplicación de RDC el cual fue cortado el resigo de manera intermitente.

En relación a los niveles de fósforo y potasio, ambos estuvieron en el rango óptimo, o que sugiere que el lixiviado del proceso de lombricultura, mantuvo los parámetros indicados por la fertilización de suelo en cerezo e incluso elevando el fósforo a más del triple. Esto puede ayudar a mantener los niveles adecuados para el crecimiento de raíces y la mantención del estatus hídrico de la planta (Hirzel *et al.*, 2020).

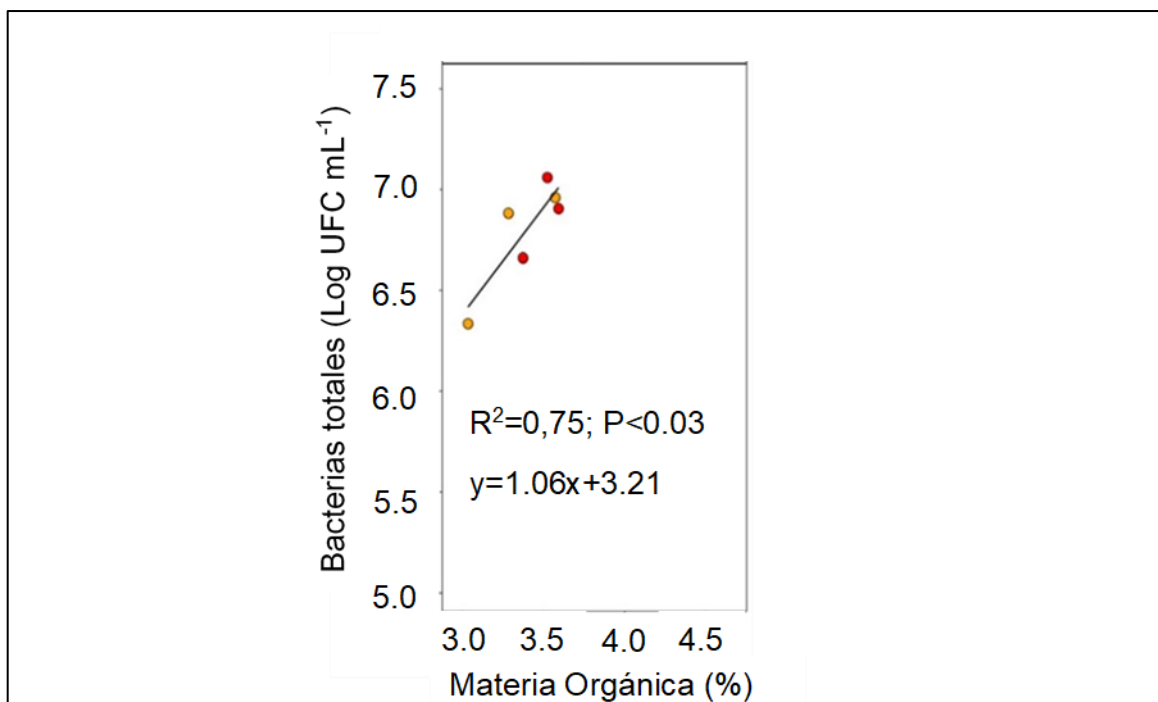
Tabla 1. Análisis químico del huerto con lixiviado frente a las dos condiciones de riego (Control: riego convencional y RDC: Riego deficitario controlado).

Riego	pH	M. Orgánica (%)	Nitrógeno (mg Kg <sup>-1</sup> )	Fosforo (mg Kg <sup>-1</sup> )	Potasio (mg Kg <sup>-1</sup> )
RDC	6,15	3,29	10,56	64,86	0,47
CONTROL	6,30	3,49	11,26	95,16	0,41

Al realizar una correlación entre las bacterias totales y la materia orgánica del suelo (Figura 9) se encontró una relación significativa y positiva entre estas dos variables, sugiriendo que la aplicación del producto favorecería la presencia de bacterias descomponedores de materia orgánica.

Esto sería un atributo positivo, debido a que las bacterias son fundamentales en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Un incremento en la cantidad de materia orgánica disponible en el suelo podría proporcionar más sustrato para las bacterias, lo que llevaría a un aumento en su número o actividad. Las bacterias descomponen la materia orgánica, liberando nutrientes esenciales para otros organismos. Una correlación positiva indica un ambiente donde la materia orgánica está siendo activamente procesada por las bacterias, mejorando la estabilidad de agregados y favoreciendo la disponibilidad de nutrientes (Bautista-Cruz y Martínez, 2020).

Figura 9. Correlación respecto a las bacterias Azotobacter (bacterias totales) analizadas en la parte microbiológica del lixiviado respecto a la Materia orgánica analizada en el análisis químico del suelo.



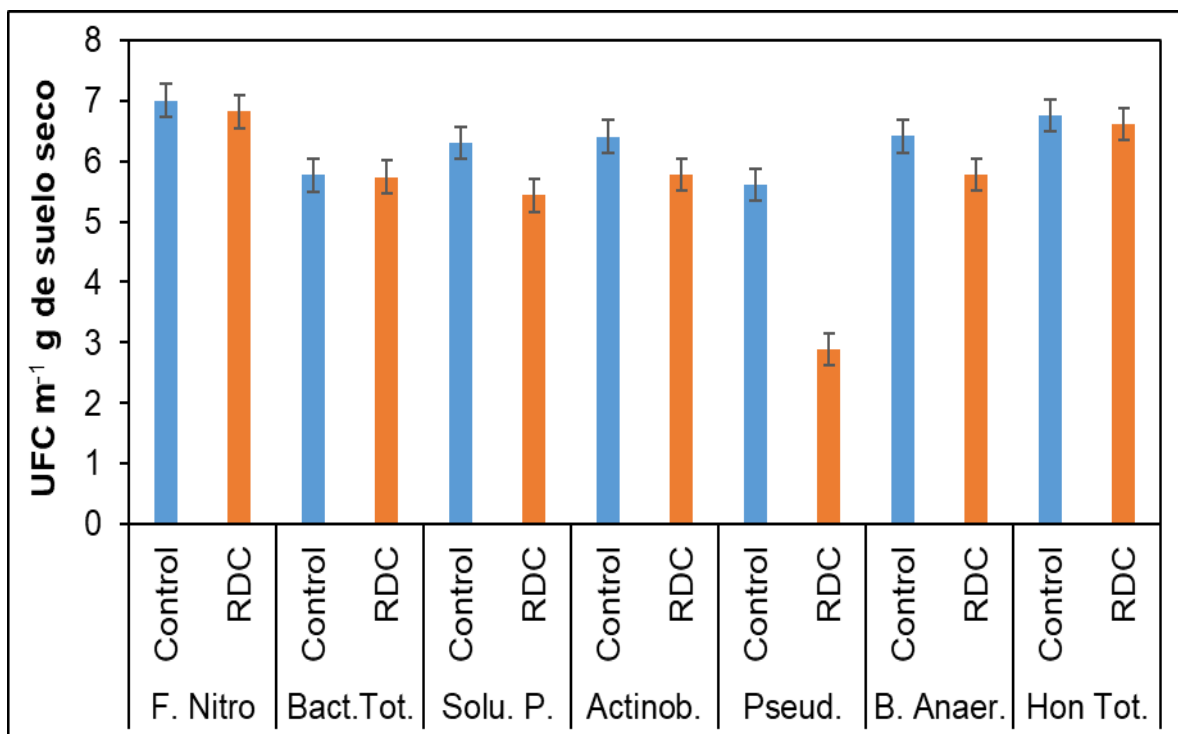
\*Se mostró una relación positiva y significativa con un  $R^2=0,75$ ;  $pvalue<0.03$   $y=1.06x+3.21$ .

### Recuento poblaciones microbianas del suelo

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos de riego para las poblaciones de los distintos microorganismos del suelo cultivados (Figura 10). Sin embargo, se observó una clara tendencia a que los suelos de las plantas Control exhibieran un mayor número de unidades formadoras de colonias (UFC) para el género *Pseudomonas* spp que los suelos de plantas con aplicación de RDC.

Esta tendencia puede estar relacionada a que la sequedad extrema del suelo puede limitar la disponibilidad de agua para las funciones metabólicas de las bacterias, reduciendo su viabilidad (Duchen y Torres 2021). El género bacteriano *Azotobacter* puede ser empleado como indicador de calidad del suelo, ya que se asocia a un nivel de pH adecuado (cerca a neutro) para el cultivo de plantas y al ser bacterias aerobias obligadas quimioheterótrofas, se encuentran en suelos aireados y ricos en materia orgánica (Goswami *et al.*, 2016; Pilatuña, 2018).

Figura 10. Análisis microbiológico del suelo en plantas de cerezo sometidas a dos tratamientos de riego (Control; Riego comercial; RDC; Riego deficitario controlado) en un huerto con aplicación de lixiviados de lombricultura vía fertirriego.



Barras de error representan 1 e.s.

## CONCLUSIONES

1. El RDC afecto de manera significativa el potencial hídrico del tallo y la conductancia estomática, a pesar de la aplicación de lixiviados en el huerto. Aunque la conductancia estomática se vio disminuida en un 50 % en las plantas estresadas severamente, Fv/Fm se mantuvo alto y sin mostrar diferencia significativa entre tratamientos de riego.
2. Se pudo observar moderadas a altas poblaciones de algunos tipos de microorganismos cultivables del suelo en el lixiviado del proceso de lombricultura durante la temporada. Por otro lado, hongos totales exhibieron un rápido decaimiento a medida que transcurría el proceso de vermicompostaje lo cual se asoció a la pérdida de carbono propia del proceso de vermicompostaje.
3. El lixiviado aportó bacterias descomponedoras de materia orgánica, lo que evidencio en su relación positiva con la materia orgánica del suelo.
4. No se observaron cambios en las propiedades químicas del suelo o en su fertilidad al regar deficitariamente un huerto con aplicación de lixiviados.

## REFERENCIAS

1. Amores, M. M. 2020. Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura. 194, 104-139.
2. Ávila C., y Hernández González, D. 2016. *Calibración y validación de modelos espacializados para la estimación del índice de área foliar (LAI) en cerezo (Prunus avium L.), a partir de imágenes satelitales Landsat* (Doctoral dissertation, Universidad Católica del Maule, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales).
3. Allen, R.G 2000. Uso del método de coeficiente dual de cultivo FAO-56 en una región irrigada como parte de un estudio de intercomparación de evapotranspiración. Rev. J hydrol. , 229 (1-2), 27-41 en línea.
4. Bautista-Cruz, A., y Martínez-Gallegos, V. 2020. Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. Rev. Terra lat. 38(3), 555-567 en línea
5. Barka, EA, Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Klenk, HP. y van Wezel, GP. 2016. Taxonomía, fisiología y productos naturales de Actinobacteria. Rev. Microbiol. Mol. y biol Mol.80 (1), 1-43 en línea
6. Blanco V., Blaya Ros, P. J., Temnani Rajjaf, A., Torres Sánchez, R., y González Teruel, J. D. 2020. Evaluación de líneas de referencia de potencial de tallo y máxima contracción diaria de rama para la programación del riego en cerezo. Póster. In *XXXVIII Congreso Nacional de Riegos: parte I. Jornada virtual de riegos 23-9-2020* (p. 116). Universidad Politécnica de Cartagena.
7. Blanco V., González-Teruel, J. D., Blaya-Ros, P. J., Domingo, R., Soto-Valles, F., y Torres-Sánchez, R. 2021. Estimación del nivel de estrés hídrico en frutales mediante técnicas machine learning para aplicación en sistemas de riego inteligentes. In *XLII Jornadas de Automática* (pp. 477-484). Universidad de Coruña, Servizo de Publicacións.
8. Blaya Ros, P. J., Pérez Pastor, A., y Domingo Miguel, R. 2021a. Evaluación de indicadores de estrés hídrico en planta para el manejo del riego deficitario controlado en cerezo. In *Proceedings of the 6th Workshop on Agri-food Research. WIA*. 17 (pp. 81-84). Universidad Politécnica de Cartagena.

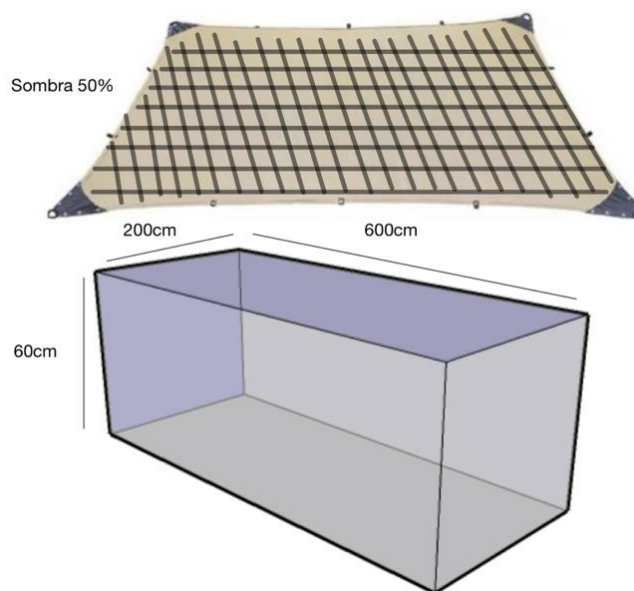
9. Blaya Ros, P. J., Torres Sánchez, R., Blanco Montoya, V., y Domingo Miguel, R. 2021b. Cambios en la capacidad fotosintética de cerezos sometidos a ciclos de supresión-reanudación del riego.
10. Castillo Peralta, A. J., y Toaquiza Chusin, L. O. 2023. Producción de tres variedades de ciruelo (*Prunus domestica* L.) con la aplicación de lixiviados.
11. Ministerio de Agricultura. ODEPA. 2023a. Cerezas: frutas en expansión. (en línea) Chile, Regiones del Maule y Ñuble. <[http://www.odepa.cl/wp-content/files\\_mf/1438959089Cerezas201507.pdf%0](http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1438959089Cerezas201507.pdf%0)> [Consulta: 24 marzo 2025].
12. Ministerio de Agricultura. ODEPA. 2023b. Superficie plantada nacional, regional, número de huertos e infraestructura frutícola. (en línea) Chile. <http://www.odepa.cl/wpcontent/uploads/2021/01/Superficie-plantada-nacional- WEB.xlsx> [Consulta: 30 abril 2025]
13. Díaz Canales, A. E., Ortega Farías, S., y Ahumada Orellana, L. 2019. *Evaluación del estado hídrico e intercambio gaseoso de un huerto de cerezo (cv. 'Santina') bajo cobertores plásticos de distinta densidad* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.
14. Domínguez, J., Aira, M., Kolbe, A. R., Gómez-Brandón, M., y Pérez-Losada, M. 2019. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. *Rev. Sci Rep.* 9(1), 9657 en línea.
15. Ebrahimi, M., Souri, M. K., Mousavi, A., y Sahebani, N. 2021. Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under deficit irrigation. *Rev. Chem. Biol. Technol. Agric.* 8(19), 1-14 en línea.
16. Ghazy, N., y El-Nahrawy, S. 2021. Siderophore production by *Bacillus subtilis* MF497446 and *Pseudomonas koreensis* MG209738 and their efficacy in controlling *Cephalosporium maydis* in maize plant. *Rev. Arch. Microbiol.* 203(3), 1195-1209 en línea.
17. Goswami, D., J.N. Thakker and P.C. Dhandhukia. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food Agric.* 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500> [en línea].

18. Gupta, R., and Garg, V. 2017. *Vermitechnology for Organic Waste Recycling, Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Elsevier*, ISBN 978-0-444-63664-5, 83-112, Amsterdam, Netherlands.
19. Hirzel, J., y Walter, I. 2007. Manejo de enmiendas orgánicas para el establecimiento de huertos frutales. *Rev. Suelos Nutr. Veg.* 7(3), 28-35 en línea
20. Hirzel, J., Moya-Elizondo, E., Hernández, M., Guzmán, P., and González, D. 2020. Effect of shade cloth on fruit and leaf nutritional concentration and bitter pit incidence in 'Fuji' apples. *Rev. Chil. J. Agric. Res.* 80(4), 535-545.
21. Lin B. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *Rev. BioScience.* 2011; 61: 183-193.
22. Maraña Santacruz, J. Á., Castellanos Pérez, E., Vázquez Vásquez, C., Martínez Ríos, J. J., Trejo Escareño, H. I., Gallegos Robles, M. Á., y Orona Castillo, I. 2018. Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Rev. Terra. Lat.*36(4), 345-354 en línea.
23. Montenegro Miño, D. A., Salomón, Y., y Antonio, J. 2020. Determinación de clorofilas, flavonoides y nitrógeno en cerezos (*Prunus Avium L.*" Santina") bajo tres condiciones de cultivo, mediante un método no destructivo (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.
24. Palma Terán, A., y Barcos Arias, M. S. 2022. Microorganismos solubilizadores de fósforo (P) y potasio (K) como alternativa biotecnológica para una agricultura sustentable (Doctoral dissertation, ESPOL. FCV). 21(1), 87-92.
25. Pilatuña, M. 2018. Aislamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno y bioestimuladoras del crecimiento vegetal con potencial en la producción de biofertilizantes. Proyecto final, Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cevallos, Ecuador.
26. Pinto-Garay, D. A. 2022. Proyecciones de eventos extremos bajo nuevos escenarios de cambio climático CMIP6 en la zona central de Chile para el periodo 2025-2085.
27. Poma, D. K. C., Vera, G. M. C., y Justo, E. V. B. 2019. Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Rev Ciens. Tecnol. UJCM.* 4, 13-23 en línea

28. Rehman, SU, De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., y Fanizzi, FP 2023. Vermicompost: mejora del crecimiento de las plantas y combate el estrés abiótico y biótico. *Rev. Agronomy*, 13 (4), 1134 en línea.
29. Richard M. Sharpe, Benjamin Killian, Tyson Koepke, Rishikesh Ghogare, Nnadozie Oraguzie, Matthew Whiting, Lee A. Meisel, Herman Silva, Amit Dhingra. 2022. *Draft genome data of Prunus avium cv 'Stella', Data in Brief*, Volume 45, 108611, ISSN 2352-3409.
30. Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., & Parra, C. 2023. Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Rev. Inf. Tecnol.*34(2), 11-20.
31. Romero-Bastidas, M., Mayer-Félix, E. A., Arce-Amézquita, P. M., Rojas-Contreras, M., Rangel-Dávalos, C., y Hernández-Rubio, J. S. 2025. Eficacia de bioproductos sobre la población y diversidad microbiana de un suelo agrícola en zonas áridas. *Rev. Mex. Cienc. Agric* 16(1) en línea
32. Rojo-Zavala, C. S., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéquez, E., Lucero-Vega, G., y García-Galindo, E. 2023. Estado hídrico y crecimiento de plantas de menta (*Mentha spicata* L.) bajo tratamientos con vermicompost y déficit hídrico. *Rev.Terra. Lat.* 41 en línea
33. Sumbul, A., Ansari, RA, Rizvi, R. y Mahmood, I. 2020. Azotobacter: un biofertilizante potencial para el manejo de suelos y sanidad vegetal. *Rev. Saudi J. Biol. Sci.* 27 (12), 3634-3640.
34. Valenzuela, A. B. P., Olivas, A. G., Padilla, M. Y. S., y Tavizón, E. F. 2020. Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana: Mineral composition of leachate (biofertilizer) of Californian red worm. *Rev. Tecnosci. Chil*, 14(3), 751-751 en línea.
35. Paul, E. A. 2015. *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (4th ed.). Academic Press. New York, USA.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Vermicompostera con una longitud de 6 m y un ancho de 2 m. La profundidad de la vermicompostera es de 60 cm, y fue construida con hormigón, protegida con una malla sombra al 50% en la parte superior de la vermicompostera, para así evitar el impacto de la radiación solar excesiva sobre la actividad de las lombrices rojas californianas (*Eisenia fétida*).



**Anexo 2.** Diseño de bloque completamente al azar con 3 repeticiones. Los tratamientos fueron aplicados en 3 hileras contiguas, pero la evaluación y medición se realizaron solo en la hilera central al igual que en la planta central, para evitar efectos bordes. Los bloques estuvieron separados por 3 hileras uno del otro.

