

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO AÉREO Y RADICAL DE ACHICORIA
INDUSTRIAL (*CICHORIUM INTYBUS* VAR. *SATIVUM*) BAJO DIFERENTES
TRATAMIENTOS DE BIOFERTILIZACIÓN**

POR

KAREN ALEJANDRA OÑATE ROMERO

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

**CHILLÁN – CHILE
2018**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO AÉREO Y RADICAL DE ACHICORIA
INDUSTRIAL (*CICHORIUM INTYBUS* VAR. *SATIVUM*) BAJO DIFERENTES
TRATAMIENTOS DE BIOFERTILIZACIÓN**



POR

KAREN ALEJANDRA OÑATE ROMERO

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

**CHILLÁN – CHILE
2018**

Aprobada por:

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

Guía

Luis Inostroza F.
Ing. Agrónomo, Dr.
INIA CRI Quilamapu

Guía externo

Profesor Asociado, Rosemarie Wilckens E.
Lic. Biología, Dr. rer. nat.

Asesor

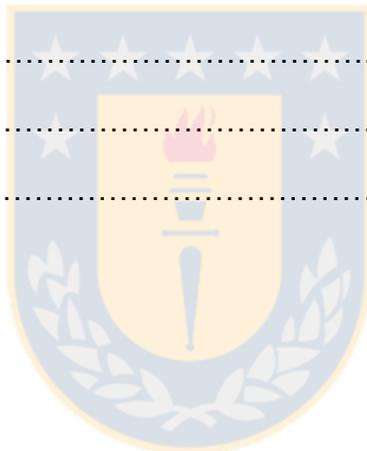
Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano



TABLA DE CONTENIDOS

| | Página |
|-----------------------------|---------------|
| Resumen..... | 1 |
| Summary..... | 1 |
| Introducción..... | 2 |
| Materiales y Métodos..... | 6 |
| Resultados y Discusión..... | 10 |
| Conclusiones..... | 18 |
| Referencias..... | 18 |
| Apéndices..... | 23 |
| Anexos..... | 25 |



ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| | | Página |
|----------|---|---------------|
| Tabla 1 | Cantidad de macronutrientes y micronutrientes diluida en medio litro de agua para cada tubo | 7 |
| Tabla 2 | Cantidad de fertilizante aplicado en 200 mL de agua para una maceta..... | 8 |
| Tabla 3 | Porcentaje de emergencia de semillas de achicoria industrial sometidas a tratamientos de biofertilización... | 11 |
| Tabla 4 | Tasa de aparición de hojas período 1 y 2 (TA_{hojas1} , 0 – 58 DDS; TA_{hojas2} , 58 - 127 DDS), tasa de crecimiento de hojas período 1 y 2 (TC_{hojas1} , 0 – 58 DDS; TC_{hojas2} , 58 – 127 DDS) y tasa de expansión de área foliar período 1 y 2 ($TE_{área\ foliar1}$, 0 – 58 DDS; $TE_{área\ foliar2}$, 58 – 127 DDS), de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización..... | 14 |
| Tabla 5 | Tasa de crecimiento de raíz período 1 y 2 ($TC_{raíz1}$, 0 – 58 DDS; $TC_{raíz2}$, 58 – 127 DDS), tasa de elongación de raíz período completo ($TE_{raíz}$, 0 – 127 DDS) y tasa de crecimiento de la corona de raíz periodo completo (TC_{corona} , 0 – 127 DDS) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización..... | 16 |
| Tabla 6 | Producción de materia seca de hoja (MS_{hojas}), raíz pivotante ($MS_{raíz\ pivotante}$), raíces finas ($MS_{raíces\ finas}$), total sistema radical ($MS_{raíz\ pivotante} + MS_{raíces\ finas}$), total de la planta ($MS_{hojas} + MS_{raíz}$), relación entre la producción de MS total del sistema radical ($MS_{raíz}$) y de hoja (MS_{hojas}) y, la relación entre la producción de MS total del sistema radical ($MS_{raíz}$) y del total de la planta ($MS_{hojas} + MS_{raíz}$) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización..... | 17 |
| Figura 1 | Variación peso seco de hojas y su variación en el tiempo (DDS) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización..... | 12 |
| Figura 2 | Variación del peso seco de raíz y su variación en el tiempo (DDS) de achicoria industrial sometida a diferentes | |

tratamientos de biofertilización..... 13



ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO AÉREO Y RADICAL DE ACHICORIA INDUSTRIAL (*CICHORIUM INTYBUS* VAR. *SATIVUM*) BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS DE BIOFERTILIZACIÓN

ANALYSIS OF AERIAL AND ROOT GROWTH OF INDUSTRIAL CHICORY (*CICHORIUM INTYBUS* VAR. *SATIVUM*) UNDER DIFFERENT BIOFERTILIZATION TREATMENTS.

Palabras índice adicionales: inulina, nutrientes, microorganismos, sistema radical.

RESUMEN

La achicoria es un cultivo de importancia a nivel industrial, debido a la extracción de inulina desde la raíz. Dado los bajos rendimientos obtenidos del cultivo, se analizó el crecimiento aéreo y radical de achicoria que fue cultivada en un mesocosmo bajo invernadero y sometida a 4 tratamientos de bioestimulantes (Nutri I, Bionativa, Nutri full y Nubiotek ultra). Durante el crecimiento del cultivo se diferencian dos períodos, 1 de lento crecimiento y 2 de rápido crecimiento. A los 11 DDS se alcanzó la máxima emergencia con un valor promedio de 89%. La achicoria sometida al tratamiento Nubiotek ultra obtuvo una mayor TA_{hojas} , TC_{hojas} y $TE_{\text{área foliar}}$ durante el periodo 1 y la TA_{hojas} y TC_{hojas} durante el periodo 2 no fue diferente ($P > 0,05$) entre tratamientos, pero en la $TE_{\text{área foliar}}$ mostró diferencias ($P \leq 0,05$), donde fluctuó entre $19,36 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$ (Nutri I) y $29,27 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$ (Nutri full). La $TC_{raíz}$ durante el periodo 1 fue diferente ($P \leq 0,001$) entre tratamientos, donde fluctuó entre $0,003 \text{ g d}^{-1}$ (Testigo) y $0,04 \text{ g d}^{-1}$ (Nubiotek ultra), mientras que la TC_{corona} y $TE_{raíz}$ no fue diferente ($P > 0,05$) entre tratamientos. Se concluye que la achicoria sometida a diferentes tratamientos de biofertilización afecta tanto en el desarrollo aéreo como radical de la planta y a pesar que en la mayoría de los tratamientos se observó un efecto sobre las tasas de crecimiento durante el periodo 1, finalmente en todos los casos la planta acumuló la misma biomasa.

SUMMARY

The cultivation of chicory is very important at industrial level, mainly because the

extraction of inulin from the root. On the basis of the low performance obtained from the crop. The aerial and root growth from a chicory were analyzed. This chicory was cultivated in a mesocosm under greenhouse and submitted to 4 biostimulants treatments (Nutri I, Bionative, Nutri full and Nubiotek ultra). Two periods were observed during the growth of the crop. The period 1 of slow growth and the period 2 of fast growth. At 11 DDS the maximum emergency was reached, with an average value of 89%. The chicory that was submitted to Nubiotek ultra treatment, got higher AR_{leaf} , GR_{leaf} y $ER_{area\ leaf}$ during period 1. During period 2 AR_{leaf} and GR_{leaf} were not different ($P > 0.05$) between the treatments, but in $ER_{area\ leaf}$ shows differences ($P \leq 0,05$), where it fluctuates between $19,36\text{ cm}^2\text{ d}^{-1}$ (Nutri I) y $29,27\text{ cm}^2\text{ d}^{-1}$ (Nutri full). During period 1 the AR_{leaf} was different ($P \leq 0,001$) between treatments, where it fluctuates between $0,003\text{ g d}^{-1}$ (Witness) y $0,04\text{ g d}^{-1}$ (Nubiotek ultra), while the CR_{Crown} and ER_{root} not different ($P > 0.05$) between the treatments. It concludes that the different treatments, influence to the aerial and radical growth of the chicory and, in despite that most of the treatments had an effect over the growth rate during period 1, finally the plant accumulated the same biomass in all the cases.

INTRODUCCIÓN

La achicoria industrial (*Cichorium intybus* var. *sativum*) es una planta de cultivo anual, perteneciente a la familia Asteraceae. Esta especie es originaria de la Cuenca del Mediterráneo, Oriente de Asia y Norte de África (Moraru *et al.*, 2013). Las hojas son ampliamente oblongas, oblanceolada o lanceolada, acotadas en la base formando una roseta en espiral en el tallo. Se caracteriza por su raíz bien desarrollada, en la parte externa de un color amarillo parduzco y en su interior de color blanco (Bais y Ravishankar, 2001).

La achicoria industrial se cultiva para la producción de inulina, que es un carbohidrato que está presente en diferentes especies vegetales, frutas, cereales y plantas (Madrigal y Sangronis, 2007). La inulina está formada por una estructura polimérica lineal de fructosa. A nivel industrial, este carbohidrato se obtiene, principalmente, de la raíz de la achicoria (constituye alrededor del 70 a 80% del

peso seco de la raíz). La importancia económica de la inulina radica en sus propiedades prebióticas (ingrediente alimenticio no digerible) que estimulan el crecimiento y/o actividad de bacterias de la flora intestinal (Madrigal y Sangronis, 2007). La inulina se ha ido incorporando masivamente en productos funcionales como productos lácteos, postres congelados, productos untables, productos horneados, cereales de desayuno, productos cárnicos, chocolate y aderezos de ensaladas (Kaur y Gupta, 2002; Madrigal y Sangronis, 2007; Traub, 2014).

En Chile se cultiva anualmente una superficie de 3.349 ha, ubicadas en su totalidad en la Región del Biobío. Actualmente el cultivo alcanza rendimientos de $54,8 \text{ t ha}^{-1}$ y una producción total anual de 183.622 t de raíz (ODEPA, 201?). El cultivo se desarrolla bajo condiciones de contrato con el consorcio empresarial BENEIO. Este fue creado en el 2007 y su matriz productiva se localiza en Bélgica, Alemania, Chile e Italia (BENEIO-Orafti, 201?).

Bajo condiciones ambientales de la Región del Biobío, el rendimiento potencial de achicoria es cercano a las 110 t ha^{-1} . Bajo condiciones de agricultor con alto nivel tecnológico, el rendimiento medio fluctúa en torno a las 55 t ha^{-1} . Se aprecia que existe una amplia brecha entre el rendimiento potencial de la especie y el obtenido por los agricultores.

El cultivo de la achicoria ha sido escasamente estudiado. Sin embargo, gran parte de las técnicas de manejo agronómico aplicadas a la remolacha son también efectivas en achicoria industrial (BENEIO-Orafti, 201?). El componente del rendimiento más importante es el número de plantas por hectárea. En este sentido, la siembra es una labor clave que define la productividad del cultivo. De acuerdo a la experiencia de Orafti, el número de plantas por hectáreas que maximiza la producción es de 210.000 plantas ha^{-1} (BENEIO-Orafti, 2014).

Uno de los factores más importantes que afecta el establecimiento de achicoria industrial, es el escaso vigor seminal asociado al pequeño tamaño de semillas ($640 \text{ semillas g}^{-1}$). Por lo tanto, un objetivo clave es incrementar el vigor de establecimiento para aumentar la productividad por unidad de superficie. Con un mayor vigor de establecimiento se espera que el cultivo sea exitoso, permitiendo el establecimiento de un número óptimo de plantas, junto con un

mayor crecimiento del follaje y cierre temprano de la entre hilera, lo que favorece la retención de humedad en el suelo (Richards *et al.*, 2002).

Estudios previos demuestran que el vigor seminal puede incrementarse mediante estrategias de fertilización. Así, la aplicación de nitrógeno al momento de establecimiento aumenta la tasa de germinación, el contenido de proteína y el peso seco de plántulas de trigo (Bulisani y Warner, 1980). Todo esto depende del contenido de humedad, momento de aplicación del fertilizante y tamaño de la semilla (Bulisani y Warner, 1980; Kering y Zhang, 2015). El N es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, ya que es constituyente de clorofilas, pared celular, aminoácidos, ácidos nucleicos, y proteínas. Desde el punto de vista agronómico se aplica con el fin de estimular un desarrollo rápido del cultivo al momento de ser incorporado en la siembra (Khaghani *et al.*, 2012; BENEIO-Orafti, 2014). Cuando este elemento es deficiente, la planta se atrofia, afectando el desarrollo radical. Por otro lado, Seghatoleslami *et al.* (2014), reportaron que el uso del nitrógeno en achicoria no tendría efecto sobre el diámetro y la longitud de la raíz.

Existen estudios que demuestran que el zinc (Zn) cumple un rol promotor en la germinación y el vigor seminal. El Zn es un elemento esencial en la síntesis de proteínas. Cerca del 10% de las proteínas que integran un sistema biológico lo requieren para su estabilidad estructural y funcional. Al exponer semillas de arroz a concentraciones de 2,5 y 5 mM de Zn, se incrementó la tasa de germinación, el vigor seminal y la tolerancia a estrés abiótico. Sin embargo, 10 y 25 mM de Zn tuvieron un efecto negativo sobre la germinación (Prom-u-thai *et al.*, 2012).

Por otro lado, algunas evidencias muestran que la actividad fisiológica del sistema radical, en etapas tempranas del desarrollo de la planta, podría ser apoyada por microorganismos benéficos del suelo. Estos, en su mayoría, desarrollan una relación simbiótica con la planta. Actualmente se utilizan como biofertilizantes (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010), y pueden incluir: *Trichoderma* sp., micorrizas, *Rhizobium* sp., *Azospirillum* sp., *Actinomyces* sp., *Bacillus* sp. y rizobacterias. Estudios con *Trichoderma* sp. muestran efectos positivos en las plantas, asociados a un mayor desarrollo del sistema radical y promotor del

crecimiento (Sosa *et al.*, 2006). Las micorrizas constituyen una asociación multifuncional con las plantas, cuyos beneficios van más allá de los aspectos nutricionales. Ellas aumentan la absorción de elementos poco móviles en el suelo tales como fósforo, cobre y zinc. Plantas micorrizadas son más eficientes en el uso de los nutrientes en el suelo, lo cual permite ahorrar fertilizantes químicos y reducir, por consiguiente, los problemas de contaminación (Blanco y Salas, 1997; Sosa *et al.*, 2006; Cuenca *et al.*, 2007).

Tanto para el crecimiento radical como aéreo, está dado por la disponibilidad de agua y nutrientes en el perfil del suelo. Cuando la planta percibe algún estrés ambiental, se adapta mediante regulación hormonal (López-Bucio *et al.*, 2003; Monshausen y Gilroy, 2007). Las auxinas, citoquininas y etileno son los principales reguladores del sistema radical. Como resultado se obtiene un crecimiento de la raíz pivotante, la aparición de raíces secundarias a lo largo del eje radical, la dirección de elongación del eje radical (en respuesta a la gravedad) y la senescencia o la mortalidad del eje radical (Lynch, 1995). La importancia para la productividad de los cultivos se debe a que muchos de los recursos del suelo se distribuyen de forma heterogénea. Esto proyecta un despliegue espacial del sistema de la raíz, lo que determina la capacidad de la planta para capturar los recursos en el suelo (Lynch, 1995; Lynch *et al.*, 1997; De Dorlodot *et al.*, 2007).

Para el estudio del sistema radical de la planta se han desarrollado varios métodos de extracción de raíces, que pueden ser de tipo destructivo o no destructivo. Entre los métodos no destructivos se encuentra el rizotróf, que usa cámaras de vidrio subterráneas. El rhizobal es una modificación automatizada de un rizotróf, que permite controlar simultáneamente las condiciones ambientales y subterráneas de un cultivo y el minirhizotróf, que consta de pequeños tubos transparentes insertados en el suelo o sustrato, del cual raíces crecen distribuyéndose alrededor del tubo (Polomski y Kuhn, 2002; Vienna Scientific Instruments, 201?).

Entre los métodos destructivos se encuentra la extracción de bloques de suelo (monolito), que puede ser utilizado para una vista detallada del sistema de raíces de plantas (Polomski y Kuhn, 2002). Otro método es el denominado mesocosmo,

que consiste en contenedores que se llenan con sustrato adecuado para el crecimiento de las raíces. Además, se puede instalar un vidrio o plexiglás en una de las paredes para observar el desarrollo de las raíces (Polomski y Kuhn, 2002; Zhu *et al.*, 2010). Este método se puede llevar a cabo bajo condiciones de invernadero o en parcelas experimentales, completamente abierta al ambiente (Petersen y Englund, 2005).

Tanto para los métodos destructivos como no-destructivos, el análisis cuantitativo del sistema radical se realiza, principalmente, mediante análisis de imágenes en software especializados (Ristova *et al.*, 2013). Para ellos se digitaliza el sistema radical mediante escaneo o fotografía y luego se procede al análisis. Existen varios programas computacionales que permiten estimar la longitud y diámetro de la raíz (Bouma *et al.*, 2000; Zobel, 2008).

Considerando lo descrito anteriormente, el objetivo es evaluar el efecto de diferentes tratamientos de biofertilización en el crecimiento aéreo y sistema radical de achicoria industrial (*Cichorium intybus* var. *sativum*) cultivada en un mesocosmo bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Centro Regional de Investigaciones Quilamapu, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ubicada en la ciudad de Chillán (36°34'S; 72°06'O), Chile. El ensayo se desarrolló bajo condiciones de invernadero.

Material vegetal

En este ensayo se usó semillas peletizadas de achicoria industrial (*Cichorium intybus* var. *sativum*), 'Cadence', facilitada por la empresa BENEÓ.

Diseño experimental y análisis estadístico

El ensayo se organizó en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Cada tratamiento contuvo de 14 mesocosmos por repetición con el propósito de realizar 7 muestreos (30 mesocosmos/muestro). En total se trabajó con 210 mesocosmos. Además, se consideraron 2 mesocosmos adicionales para el monitoreo de potencial hídrico y temperatura del sustrato.

Cada variable se analizó mediante análisis de varianza y las medias de cada tratamiento se compararon mediante una prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de confianza del 5%.

Condiciones de crecimiento

Las plantas de achicoria industrial se establecieron en tubos de PVC de 11 cm de diámetro y 100 cm de altura. Cada tubo internamente contenía una bolsa plástica. Se utilizó como sustrato una mezcla (volumen/volumen) de arena fina (50%), vermiculita (35%), suelo de la Serie Arrayán (medial, thermic Humic Haploxerands) (10%) y perlita (5%) (Zhu *et al.*, 2010). Los tubos se colocaron en repisas, la cual externamente estuvo completamente forrada con un aislante térmico (Alusa foil termic) para evitar la radiación solar directa sobre los tubos.

Tabla 1. Cantidad de macronutrientes y micronutrientes diluida en medio litro de agua para cada tubo.

| Macronutrientes | | | Micronutrientes | | |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| Nutriente | Compuesto | mg maceta ⁻¹ | Nutriente | Compuesto | mg maceta ⁻¹ |
| N | NH ₄ NO ₃ | 257 | Cu | CuSO ₄ | 15 |
| P | H ₃ PO ₄ | 463 | Zn | ZnSO ₄ | 17 |
| K | K ₂ SO ₄ | 883 | B | H ₃ BO ₃ | 32 |
| Ca | CaOH ₂ | 872 | Mo | NaMoO ₄ | 2 |
| Mg | MgSO ₄ | 764 | Mn | MnSO ₄ | 6 |
| | | | Fe | FeSO ₄ | 9 |
| | | | Cl | CaCl ₂ | 24 |

Un día antes de la siembra se aplicó una fertilización inicial, según se indica en la Tabla 1.

Al día siguiente, en cada tubo se sembró 3 semillas. Después de la tercera semana, se procedió a ralea y dejar una planta por cilindro. Posterior a esto, se aplicaron los tratamientos de biofertilización (Tabla 2; ver Anexo 1) diluidos en 200 mL de agua por cada tubo.

La humedad del sustrato se mantuvo en un umbral óptimo cercano a capacidad de campo (C.C.).

Tabla 2. Cantidad de fertilizante aplicado en 200 mL de agua para una maceta.

| Compuesto/Elemento | Nutri I (g) | Nutri full (g) | Nubiotek ultra (g) | Bionativa (g) |
|--------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|---------------|
| N | n.a. | n.a. | 0,3192 | n.a. |
| P | n.a. | n.a. | 0,1900 | n.a. |
| K | n.a. | n.a. | 1,1000 | n.a. |
| Zn | 0,3800 | 0,2200 | n.a. | n.a. |
| Ca | n.a. | n.a. | 0,0036 | n.a. |
| Mg | n.a. | 0,0400 | 0,0087 | n.a. |
| Cu | n.a. | 0,1300 | n.a. | n.a. |
| S | n.a. | n.a. | 0,0200 | n.a. |
| B | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Mo | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Mn | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Fe | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Cl | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Algas marinas y aminoácidos | 0,0200 | 0,0200 | n.a. | n.a. |
| L – triptófano | 0,1900 | 0,1900 | n.a. | n.a. |
| Auxinas y giberelinas | 0,0070 | 0,0070 | n.a. | n.a. |
| Citoquininas | 0,0002 | 0,0002 | n.a. | n.a. |
| Extracto cítrico | n.a. | 0,7100 | n.a. | n.a. |
| <i>Trichodermas spp</i> | n.a. | n.a. | n.a. | 0,011 |
| <i>Bacillus spp</i> | n.a. | n.a. | n.a. | 0,027 |
| Arcillas | n.a. | n.a. | n.a. | 0,064 |

n.a.: no aplicado

Para esto se dispuso de un sistema de riego presurizado automático con emisores tipo gotero con caudal de 2Lh^{-1} (PCJ, Netafim). Los tubos fueron regados

diariamente a las 8, 15 y 19 h durante 2 min. Durante el experimento se monitoreo la humedad y la temperatura del sustrato mediante la instalación de sensores (ECH2O EC-5 y 5TE Decagon) en 2 tubos adicionales a las unidades experimentales. Cada tubo tenía 5 sensores a distintas profundidades (5, 15, 25, 35 y 50 cm).

Evaluaciones

Porcentaje de emergencia: Se registró a diario el número de plantas emergidas (durante 2 semanas). Se calculó como la relación entre el número de plantas emergidas y el tiempo (plantas día⁻¹).

Crecimiento y desarrollo de órganos aéreos y subterráneos: Se realizaron 7 muestreos destructivos en total, cada dos semanas durante todo el periodo experimental. En cada muestreo se colectaron 30 mesocosmos (5 tratamientos x 2 mesocosmos tratamiento⁻¹ x 3 repeticiones). Se contó el número total de hojas plenamente expandidas y se determinó el área foliar. Se determinó la materia seca (MS) en hojas y raíces, luego del secado de las muestras en un horno con aire forzado a 65°C por 48 h.

Las raíces se extrajeron de cada mesocosmo y se colocaron sobre una malla para luego lavar con agua a chorro continuo. Inmediatamente después del lavado, se cortó en la inserción entre las hojas y la raíz (cuello de la planta). Las raíces fueron conservadas en bolsas plásticas con alcohol al 70% (v:v) a 4°C, para su posterior análisis.

De cada sistema radical se tomó una fotografía digital de alta definición, con una cámara digital (Canon EOS Rebel t5i). Para esto, cada sistema radicular será extendido sobre una bandeja negra con agua, a fin de disminuir la superposición de raíces. Las imágenes obtenidas con la cámara fotográfica fueron analizadas con el programa RootSnap. Se determinó el diámetro de la corona y longitud de la raíz. Finalmente, se separó la raíz pivotante de las raíces finas y se colocaron en bolsas de papel a secar por separado en horno de aire forzado a 65°C, para registrar su peso seco.

Con la información disponible se calculó la tasa de crecimiento de hojas y

raíces como el cociente entre el número de hojas y el tiempo en días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de emergencia

El porcentaje de emergencia mostró un patrón similar en todos los tratamientos (Tabla 3). El porcentaje de emergencia, a los 5 días después de siembra (DDS), mostró diferencias entre tratamientos. Con el tratamiento Nubiotek ultra se registró un valor de emergencia de 67%, con respecto al tratamiento Nutri full que alcanzó un valor de 81%.

A los 11 DDS se alcanzó la máxima emergencia, con un valor promedio de 89%. En este período, el porcentaje de emergencia varió entre tratamientos. En el tratamiento Nubiotek ultra se registró un valor de 84%, mientras que con el tratamiento Nutri full se obtuvo un valor de emergencia de 98%.

De acuerdo a estos resultados, los tratamientos de fertilización ejercieron un efecto inductor de la germinación. En las últimas décadas se han desarrollado diversas técnicas de inducción de semillas (Debbarma y Priyadarshinee, 2017). Estas técnicas consisten en tratar la semilla con compuestos naturales o sintéticos antes que ocurra el proceso de germinación, con el objetivo de incrementar el vigor seminal e incluso tolerancia a estrés abiótico (Amador-Alfárez *et al.*, 2013; Jisha *et al.*, 2013). En este estudio, las diferencias en el porcentaje de emergencia entre tratamientos se podría deber a que el tratamiento Nutri full contiene hormonas (citoquininas, auxinas y giberelinas), las que han sido ampliamente descritas como “inductor de semilla” (Cruz *et al.*, 2010; Amador-Alfárez *et al.*, 2013). Por ejemplo, semillas de algodón y habas tratadas con ácido giberélico mostraron mayor tasa de germinación (Jisha *et al.*, 2013). Semillas de trigo tratadas con auxinas mostraron mayor vigor de germinación, con incremento en la longitud de coleoptilo (Akbari *et al.*, 2007). Las giberelinas contrarrestan el papel inhibitorio del ácido abscísico (ABA) y aunque estas se encuentren en niveles fisiológicamente relevantes en la semilla, la síntesis de las giberelinas se incrementa notablemente durante la imbibición. De forma general, se considera que las giberelinas controlan la expansión celular que ocurre en el eje radicular

durante la germinación. Lo que concuerda con este ensayo, ya que la aplicación de giberelinas rompió el reposo de las semillas lo que condujo a un mayor porcentaje de germinación en el tratamiento con Nutri full. El tratamiento Bionativa no mostró un efecto inductor de semilla, pese a que ha sido descrito en la literatura (Rawat *et al.*, 2011). Se cree que la condición casi inerte del sustrato desfavoreció el desarrollo de las colonias de *Trichoderma*.

Tabla 3. Porcentaje de emergencia de semillas de achicoria industrial sometidas a tratamientos de biofertilización.

| Tratamiento | 3 DDS | 4 DDS | 5 DDS | 6 DDS | 7 DDS | 9 DDS | 11 DDS |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| | % | | | | | | |
| Testigo | 2,38 a | 19,05 a | 74,60 b | 80,95 a | 86,51 a | 89,68 ab | 88,10 b |
| Nutri I | 3,17 a | 12,70 a | 73,02 b | 80,95 a | 89,98 a | 89,68 ab | 88,89 b |
| Bionativa | 1,59 a | 23,02 a | 72,22 b | 76,98 a | 86,71 a | 87,30 ab | 84,92 b |
| Nutri full | 2,38 a | 23,81 a | 80,95 a | 82,54 a | 92,06 a | 96,03 a | 98,41 a |
| Nubiotek ultra | 1,59 a | 20,63 a | 67,46 c | 71,43 a | 83,33 a | 83,33 b | 84,13 b |
| Tratamiento | ns | ns | * | ns | ns | ns | * |
| DMS | 4,33 | 24,81 | 22,78 | 21,72 | 16,66 | 12,15 | 9,15 |

*, **, *** para $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$, respectivamente. ns: no significativo. DMS: diferencia mínima significativa.

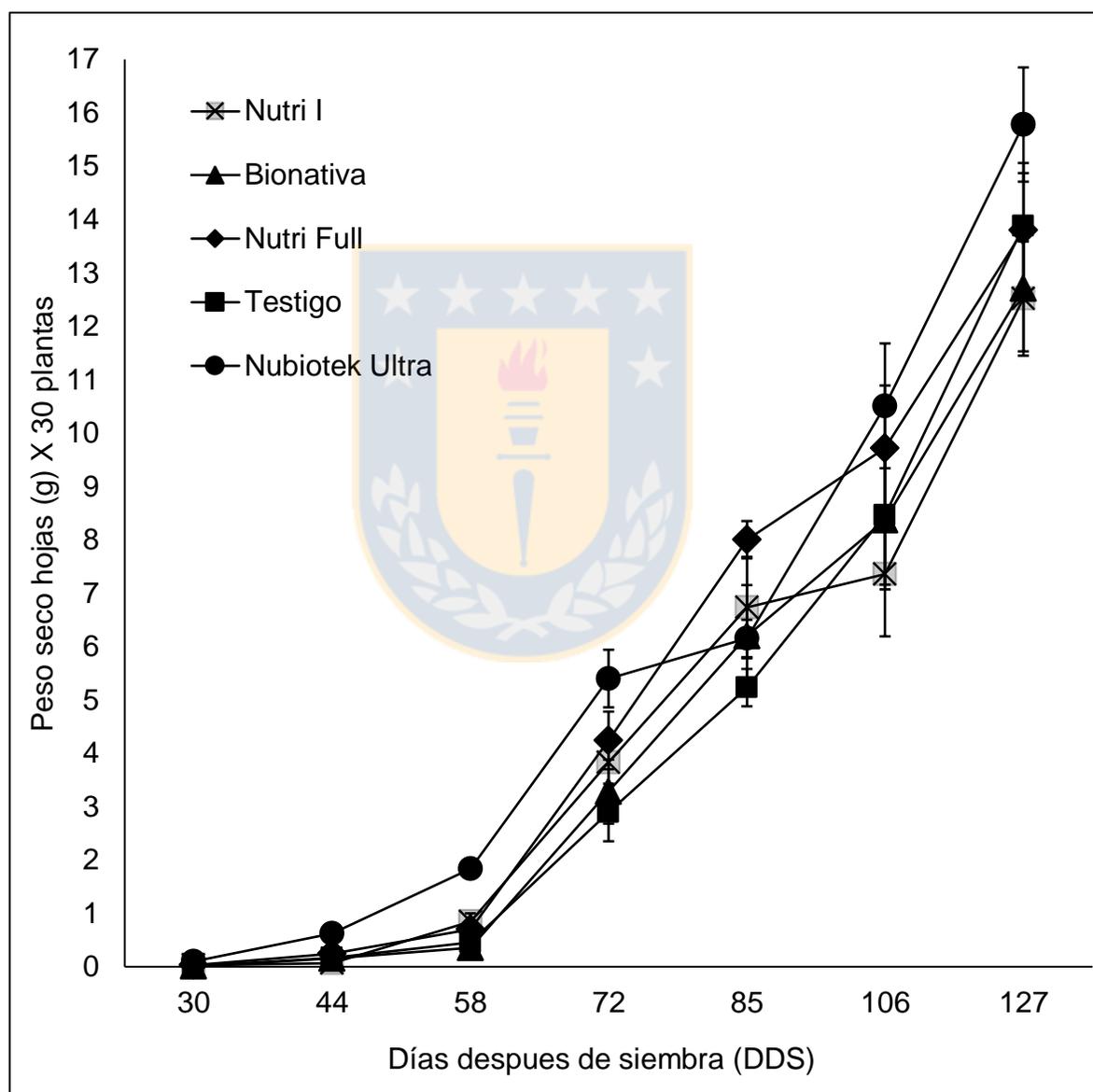
Crecimiento y desarrollo de órganos aéreos y subterráneos

El crecimiento de hojas y raíces mostró el patrón observado en las Figuras 1 y 2. En la curva de crecimiento de la hoja fue posible diferenciar dos períodos. Un período inicial (período 1) de lento crecimiento, observado entre la siembra y los 58 DDS y un período de crecimiento más acelerado (período 2) entre los 58 y 127 DDS.

Tasa de aparición de hojas (TA_{hojas}), tasa de crecimiento de hojas (TC_{hojas}) y tasa de expansión del área foliar ($TE_{\text{área foliar}}$). Durante el periodo 1, TA_{hojas}

(Tabla 4) fue diferente ($P \leq 0,05$) entre tratamientos. La TA_{hojas1} fluctuó entre 0,20 hojas d^{-1} (Bionativa) y 0,38 hojas d^{-1} (Nubiotek ultra). La TC_{hojas} durante el período 1 mostró diferencia significativa ($P \leq 0,001$) entre tratamientos. La TC_{hojas1} fluctuó entre 0,02 $g d^{-1}$ (Bionativa) y 0,06 $g d^{-1}$ (Nubiotek ultra).

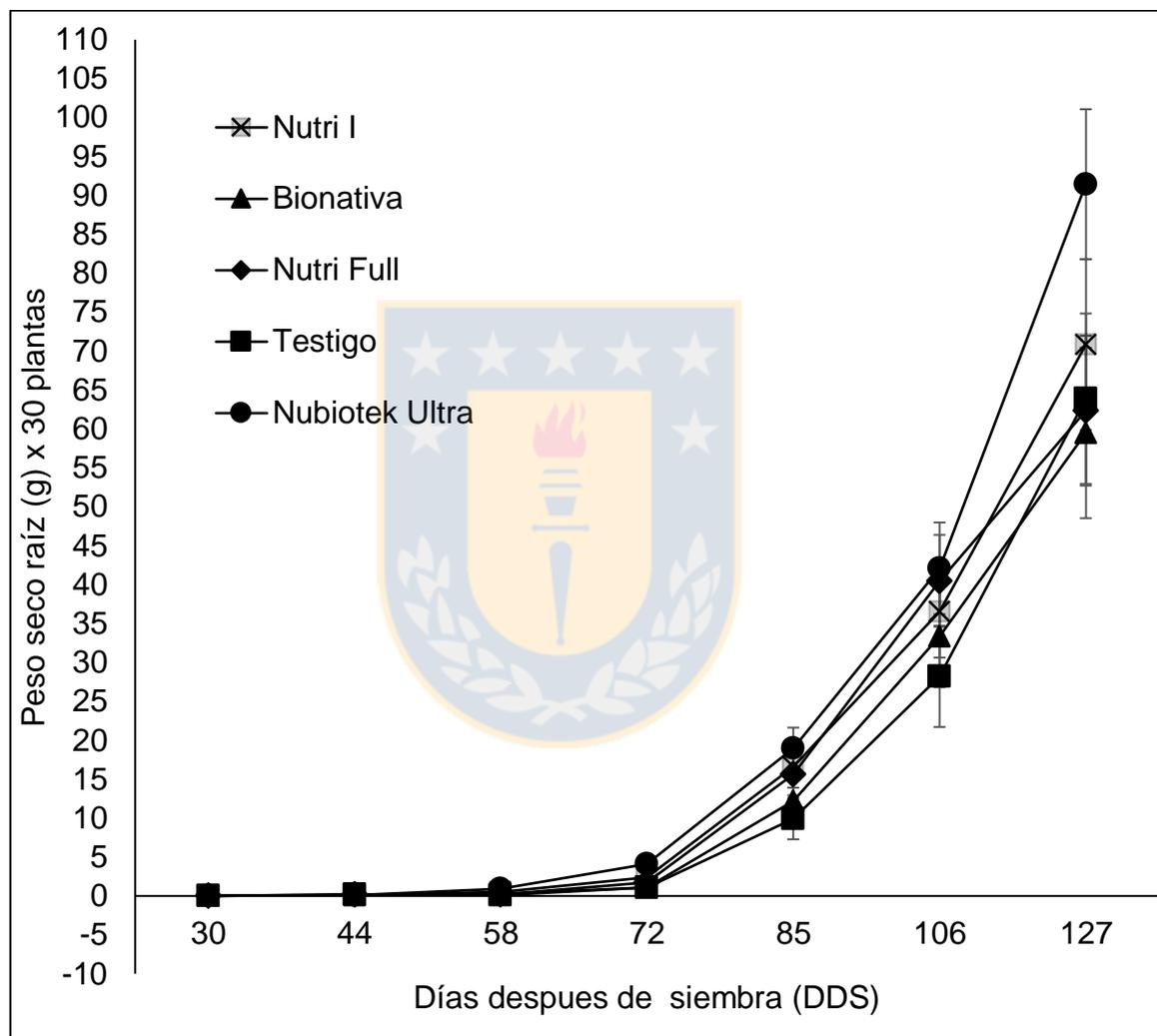
Figura 1. Variación peso seco de hojas y su variación en el tiempo (DDS) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización.



Durante el período 2, ambas tasas (TA_{hojas2} y TC_{hojas2}) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). En este período, TA_{hojas2} alcanzó un

valor promedio de 0,28 hojas d^{-1} . Mientras que la TC_{hojas2} alcanzó un valor promedio de 0,18 $g d^{-1}$ (Tabla 4). Estos resultados son relevantes, ya que permiten delimitar el alcance temporal de los tratamientos estudiados. Independiente del efecto estimulante sobre el crecimiento y desarrollo de hojas en

Figura 2. Variación del peso seco de raíz y su variación en el tiempo (DDS) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización.



algunos tratamientos durante el primer período de crecimiento, todos los tratamientos alcanzan una misma condición al finalizar el período experimental.

Resultados obtenidos en el crecimiento y desarrollo de hojas durante el primer período coinciden con los obtenidos en el crecimiento de hojas (Figura 1), ya que el tratamiento Nubiotek ultra obtuvo mayor peso seco en hojas respecto a los

demás tratamientos. Nubiotek ultra se caracteriza por formas altamente disponible del N (Anexo, Tabla 1). En este sentido, los resultados coinciden con aquellos de Seghatoleslami *et al.* (2014), quienes determinaron que la fertilización nitrogenada aumentó la producción de materia seca de la hoja, promovió un mayor número en la aparición de hojas (Aguilar *et al.*, 2015) y produjo un incremento en el rendimiento de la achicoria (Cecilio *et al.*, 2017). Por esta razón, el nitrógeno es uno de los elementos cuantitativamente más importantes para el crecimiento de la planta y tiene efectos en el crecimiento celular y metabolismo (Seghatoleslami *et al.*, 2014).

Según Fisher *et al.* (2015), la aplicación de magnesio en achicoria, aumentó la materia seca de la hoja, la cual coincidió con los tratamientos con Nutri full, Nubiotek ultra y Testigo del presente estudio, en los cuales se registró una mayor materia TA_{hojas} y TC_{hojas} (Tabla 4).

Tabla 4. Tasa de aparición de hojas período 1 y 2 (TA_{hojas1} , 0 – 58 DDS; TA_{hojas2} , 58 - 127 DDS), tasa de crecimiento de hojas período 1 y 2 (TC_{hojas1} , 0 – 58 DDS; TC_{hojas2} , 58 – 127 DDS) y tasa de expansión de área foliar período 1 y 2 ($TE_{área\ foliar1}$, 0 – 58 DDS; $TE_{área\ foliar2}$, 58 – 127 DDS), de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización.

| Tratamiento | TA_{hojas1} | TA_{hojas2} | TC_{hojas1} | TC_{hojas2} | $TE_{área\ foliar1}$ | $TE_{área\ foliar2}$ |
|----------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|----------------------|
| | (hojas d^{-1}) | | (g d^{-1}) | | (cm ² d^{-1}) | |
| Testigo | 0,29 ab | 0,26 a | 0,02 a | 0,19 ab | 3,7 a | 26,7 bc |
| Nutri I | 0,27 ab | 0,25 a | 0,03 b | 0,17 ab | 5,0 ab | 19,4 a |
| Bionativa | 0,20 a | 0,25 a | 0,02 a | 0,16 a | 3,1 a | 21,9 ab |
| Nutri full | 0,31 ab | 0,33 a | 0,02 ab | 0,20 b | 7,5 b | 29,3 c |
| Nubiotek ultra | 0,38 b | 0,33 a | 0,06 c | 0,19 ab | 12,9 c | 27,7 bc |
| Tratamiento | * | ns | *** | ns | *** | * |
| DMS | 0,11 | 0,11 | 0,01 | 0,04 | 2,07 | 6,67 |

*, **, *** para $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$, respectivamente. ns: no significativo. DMS: diferencia mínima significativa.

La $TE_{\text{área foliar1}}$ (Tabla 4) durante el período 1 fue diferente ($P \leq 0,001$) entre tratamientos, fluctuando entre $3,08 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ (Bionativa) y $12,87 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ (Nubiotek ultra). Durante el período 2, la $TE_{\text{área foliar2}}$ fue diferente ($P \leq 0,05$), donde fluctuó entre $19,36 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ (Nutri I) y $29,27 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ (Nutri full).

De acuerdo al estudio realizado por Aguilar *et al.* (2015) en el cultivo de maíz, logró aumentar la eficiencia de la planta en la producción de materia seca con fertilización nitrogenada, incrementó el índice de área foliar, siendo más alto a los 90 DDS. Lo que concuerda con los resultados obtenidos en la $TE_{\text{área foliar}}$ durante el período 1 y 2, ya que el tratamiento Nubiotek ultra se mantuvo más alto hasta los 72 DDS, y luego se mantuvo en equilibrio junto a los demás tratamientos.

Con respecto al tratamiento Bionativa se obtuvo los menores valores de TA_{hojas} , TC_{hojas} y $TE_{\text{área foliar}}$ durante el período 1. De acuerdo con Martínez *et al.* (2013), las diferentes especies de *Trichodermas* son altamente sensibles a las condiciones ambientales del suelo/sustrato. Su temperatura óptima de crecimiento fluctúa entre 25 y $30 \text{ }^\circ\text{C}$, pero cuando la temperatura del suelo oscila entre 10 y $15 \text{ }^\circ\text{C}$ existe una baja disponibilidad de nutrientes, por ende, las *Trichoderma spp.* no crecen y disminuyen su actividad. Adicionalmente, las especies de *Trichoderma* son sensibles al contenido de humedad del suelo. En suelos con alto contenido de humedad su colonización y sobrevivencia disminuye por la baja disponibilidad de oxígeno. Pese a que las condiciones ambientales de los mesocosmos permitieron un adecuado crecimiento y desarrollo de achicoria (Apéndice 1 y Apéndice 2), se estima que no fueron adecuadas para *Trichoderma spp.* Adicionalmente, el sustrato utilizado no contenía materia orgánica suficiente para el crecimiento de los microorganismos. Por esta razón, el beneficio potencial de estos organismos sobre el crecimiento y desarrollo fue menor en relación a los demás tratamientos.

Tasa de crecimiento de la corona (TC_{corona}), tasa de crecimiento de raíz ($TC_{\text{raíz}}$) y tasa de elongación de la raíz ($TE_{\text{raíz}}$). La $TC_{\text{raíz}}$ (Tabla 5) durante el período 1 fue diferente ($P \leq 0,001$) entre tratamientos. Así, $TC_{\text{raíz1}}$ fluctuó entre $0,003 \text{ g d}^{-1}$ (Testigo) y $0,04 \text{ g d}^{-1}$ (Nubiotek ultra). Durante el período 2, la $TC_{\text{raíz2}}$ no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$), alcanzando un valor promedio de

1,01 g d⁻¹. El resultado obtenido en la TC_{raíz} durante el período 1 concuerda con el obtenido en el peso seco de raíz (Figura 2), ya que el tratamiento Nubiotek ultra se mantuvo con un peso mayor hasta los 58 DDS.

El estudio realizado por Causin y Arnoz (1988), sobre el efecto de las fuentes de nitrógeno en el cultivo de remolacha, mostró un incremento tanto en peso de raíz como en hojas, ya que al aplicar simultáneamente NO₃ + NH₄ determinó un mayor crecimiento en las plantas de remolacha, mientras que las tratadas con NH₄ mantuvo un peso constante durante el periodo experimental. Sin embargo, como única fuente de nitrógeno podría producir efectos tóxicos por su acumulación en los tejidos. La presencia de ambos iones contribuiría tanto a atenuar los cambios del pH de la rizósfera como a un mejor balance de cargas.

La TE_{raíz} y TC_{corona} (Tabla 5) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos (P>0,05). La TE_{raíz} y TC_{corona} alcanzaron un valor promedio de 2,26 cm d⁻¹ y 0,44 cm d⁻¹ respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Tasa de crecimiento de raíz período 1 y 2 (TC_{raíz1}, 0 – 58 DDS; TC_{raíz2}, 58 – 127 DDS), tasa de elongación de raíz período completo (TE_{raíz}, 0 – 127 DDS) y tasa de crecimiento de la corona de raíz periodo completo (TC_{corona}, 0 – 127 DDS) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización.

| Tratamiento | TC _{raíz1} | TC _{raíz2} | TE _{raíz} | TC _{corona} |
|----------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| | (g d ⁻¹) | | | |
| Testigo | 0,00 a | 0,85 a | 2,11 a | 0,47 a |
| Nutri I | 0,02 b | 0,92 a | 2,02 a | 0,39 a |
| Bionativa | 0,01 ab | 0,89 a | 2,32 a | 0,41 a |
| Nutri full | 0,01 ab | 1,24 a | 2,43 a | 0,46 a |
| Nubiotek ultra | 0,04 c | 1,14 a | 2,43 a | 0,47 a |
| Significancia | *** | ns | ns | ns |
| DMS | 0,013 | 0,41 | 0,915 | 0,128 |

*, **, *** para P≤0,05, P≤0,01, P≤0,001, respectivamente. ns: no significativo. DMS: diferencia mínima significativa

Producción de materia seca y partición de biomasa. La producción de materia

seca (MS) y partición de biomasa se cuantificó a los 176 DDS. La producción de MS del sistema radical ($MS_{\text{raíz-total}}$) se dividió en raíz pivotante ($MS_{\text{r.piv.}}$) y raíces finas ($MS_{\text{r.fin.}}$). Sólo la producción de $MS_{\text{r.piv.}}$ mostró diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamientos y fluctuó entre 45,16 g (Testigo; Tabla 6) y 72,06 g (Nubiotek ultra).

Tabla 6. Producción de materia seca de hoja (MS_{hojas}), raíz pivotante ($MS_{\text{raíz pivotante}}$), raíces finas ($MS_{\text{raíces finas}}$), total sistema radical ($MS_{\text{raíz pivotante}} + MS_{\text{raíces finas}}$), total de la planta ($MS_{\text{hojas}} + MS_{\text{raíz}}$), relación entre la producción de MS total del sistema radical ($MS_{\text{raíz}}$) y de hoja (MS_{hojas}) y, la relación entre la producción de MS total del sistema radical ($MS_{\text{raíz}}$) y del total de la planta ($MS_{\text{hojas}} + MS_{\text{raíz}}$) de achicoria industrial sometida a diferentes tratamientos de biofertilización.

| Tratamiento | MS_{hj} | $MS_{\text{r.piv.}}$ | $MS_{\text{r.fin.}}$ | $MS_{\text{r. total}}$ | $MS_{\text{hj+r}}$ | $MS_{\text{r}}:M$ | $MS_{\text{r}}:M$ |
|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | | | $S_{\text{hj.}}$ | $S_{\text{hj.+r}}$ |
| (g d ⁻¹) | | | | | | | |
| Testigo | 14,10 a | 45,16 ab | 18,71 a | 63,87 a | 77,97 a | 4,53 a | 0,82 a |
| Nutri I | 13,35 a | 63,69 bc | 16,59 a | 80,28 ab | 93,63 ab | 6,01 a | 0,86 a |
| Bionativa | 12,94 a | 45,52 a | 16,95 a | 62,47 a | 75,41 a | 4,83 a | 0,83 a |
| Nutri full | 15,33 a | 58,48 abc | 17,46 a | 75,95 ab | 91,27 ab | 4,95 a | 0,83 a |
| Nubiotek ultra | 15,78 a | 72,06 c | 16,92 a | 88,98 b | 104,76 b | 5,64 a | 0,85 a |
| Significancia | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns |
| DMS | 2,47 | 19,11 | 6,59 | 22,82 | 24,53 | 1,96 | 0,07 |

*, **, *** para $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$, respectivamente. ns: no significativo. DMS: diferencia mínima significativa.

hj.= hojas; r.= raíz; r.fin.= raíces finas ; r.piv.= raíz pivotante.

Según estos resultados esta especie tuvo una alta capacidad de adaptación. Pese a que en la mayoría de los tratamientos se observó un efecto sobre las tasas de

crecimiento durante el periodo 1, finalmente en todos los casos la planta acumuló la misma biomasa.

La producción de MS hoja (MS_{hojas}), MS total de la planta ($MS_{\text{hojas}} + MS_{\text{raíz}}$) no fue diferente ($P > 0,05$) entre los tratamientos (Tabla 6).

Para las variables partición de biomasa $MS_{\text{raíz}}:MS_{\text{hojas}}$ y $MS_{\text{raíz}}:MS_{\text{hojas+raíz}}$ no se registró diferencia significativa ($P > 0,05$) entre los tratamientos (Tabla 6). Resultados similares fueron reportados por Chubey y Dorrell (1978). Ellos estudiaron el efecto de algunas estrategias de riego y fertilización sobre la producción de achicoria industrial, donde no se observó efecto de ninguna práctica de manejo agronómico. Sin embargo, los efectos se observaron en la calidad industrial de la producción de azúcares.

CONCLUSIONES

1. La fertilización en la achicoria tuvo un efecto inductor en la germinación, obteniéndose con el tratamiento Nutri full el mayor porcentaje de emergencia, por su contenido de hormonas (citoquininas, giberelinas y auxinas).
2. El análisis en la parte aérea (TA_{hojas} , TC_{hojas} y $TE_{\text{área foliar}}$) y radical ($TC_{\text{raíz}}$, TC_{corona} y $TE_{\text{raíz}}$) sometida a tratamiento Nubiotek ultra obtuvo mayor valor con respecto a los demás tratamientos, por contener formas altamente disponibles de N.
3. La planta sometida al tratamiento Bionativa registró los menores valores tanto para la parte aérea como radical. Este tratamiento al contener microorganismos (principalmente *Trichoderma* spp.) dadas las condiciones ambientales no tuvo un buen desarrollo dentro del mesocosmo.

REFERENCIAS

1. Aguilar, C., J.A.S. Escalante e I. Aguilar. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33(1): 51-62.
2. Akbari, G., S.A.M. Modarres and S. Yousefzadeh. 2007. Effect of auxin and salt stress (NaCl) on seed germination of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Biol. Sci.* 10(15): 2557-2561.

3. Amador-Alfárez, K., J. Díaz-González, S. Loza-Cornejo y E. Bivián-Castro. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibotánica* (35): 109-131.
4. Armenta-Bojórquez, A.D., C. García-Gutiérrez, J.R. Camacho-Báez, M.A. Apodaca-Sánchez, L. Gerardo-Montoya y E. Nava-Pérez. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai* 6(1): 51-56.
5. Bais, H.P. and G.A. Ravishankar. 2001. *Cichorium intybus* L. – cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. *J. Sci. Food Agric.* 81(5): 467-484.
6. BNEO-Orafti. 2014. Manual técnico: achicoria industrial temporada 2014-2015 [en línea]. BNEO-Orafti, Chile. <https://www.orafiti.cl/download/manualtecnicocultivo_2014-2015.pdf>. [Consulta: 12 abril 2015].
7. BNEO-Orafti. 2017. Nuestra empresa [en línea]. BNEO-Orafti, Chile. <<http://www.orafiti.cl/nuestra-empresa/>>. [Consulta: 07 agosto 2018].
8. Blanco, F.A. y E.A. Salas. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agron. Costarric.* 21(1): 55-67.
9. Bouma, T.J., K.L. Nielsen and B. Koutstaal. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant Soil* 218(1): 185-196.
10. Bulisani, E.A. and R.L. Warner. 1980. Seed protein and nitrogen effects upon seedling vigor in wheat. *Agron. J.* 72(4): 657-662.
11. Causin, H.F. y P.A. Arnozis. 1988. Efectos de las fuentes de nitrógeno sobre el crecimiento de la remolacha. *Cienc. Suelo* 6(2): 129-135.
12. Cecílio, A., R.L. Coelho, T. Pangan Loreiro da Cunha and M. Urrestarazu. 2017. Nitrogen efficiency in hydroponic chicory. *J. Plant Nutr.* 40(18): 2532-2539.
13. Chubey, B.B. and D.G. Dorrell. 1978. Total reducing sugar, fructose and glucose concentrations and root yield of two chicory cultivars as affected by irrigation, fertilizer and harvest dates. *Can. J. Plant Sci.* 58(3): 789-793.
14. Cruz, M., L.M. Melgarejo y M. Romero. 2010. Fitohormonas. pp: 39-44. En: L.M. Melgarejo (Ed.). *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
15. Cuenca, G., A. Cáceres, G. Oirdobro, Z. Hasmy y C. Urdaneta. 2007. Las

micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32(1): 23-29.

16. Debbarma, M. and S. Priyadarshinee. 2017. Priming of seed: enhancing growth and development. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6(12): 2390-2396 [en línea].
17. De Dorlodot, S., B. Forster, L. Pagès, A. Price, R. Tuberosa and X. Draye. 2007. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. *Trends Plant Sci.* 12(10): 474-481.
18. Fischer, S., R. Wilckens, I. Vidal, P. Astete y J. Maier. 2015. Respuesta de la achicoria (*Cichorium intybus* L.) a la aplicación de magnesio. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 32(1): 3-11.
19. Jisha, K.C., K. Vijayakumari and J.T. Puthur. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiol. Plant.* 35: 1381-1396.
20. Kaur, N. and A.K. Gupta. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *J. Biosci.* 27(7): 703-714.
21. Kering, M.K. and B. Zhang. 2015. Effect of priming and seed size on germination and emergence of six food-type soybean varieties. *Int. J. Agron.* <http://dx.doi.org/10.1155/2015/859212> [en línea].
22. Khaghani, S., M.J. Shakouri, S. Mafakheri and M. Aslanpour. 2012. Effect of different chemical fertilizers on chicory (*Cichorium intybus* L.). *Indian J. Sci. Technol.* 5(1): 1933-1935.
23. López-Bucio, J., A. Cruz-Ramírez and L. Herrera-Estrella. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6(3): 280-287.
24. Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* 109(1): 7-13.
25. Lynch, J.P., K.L. Nielsen, R.D. Davis and A.G. Jabllokow. 1997. *SimRoot*: modelling and visualization of root systems. *Plant Soil* 188(1): 139-151.
26. Madrigal, L. y E. Sangronis. 2007. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Arch. Latinoam. Nutr.* 57(4): 387-396.
27. Martínez, B., D. Infante e Y. Reyes. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Rev. Protección Veg.* 28(1): 1-11.
28. Monshausen, G.B. and S. Gilroy. 2007. The exploring root – root growth responses to local environmental conditions. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12(6):

766 – 772.

29. Moraru, N., N. Dragomir, I. Pădeanu, C. Dragomir, F. Tarjoc and D. Rechițean. 2013. Effect of chemical and organic fertilisation on common chicory (*Cichorium intybus* L.) in the first vegetation year. *Anim. Sci. Biotechnol.* 46(1): 172-175.
30. ODEPA. 201? Estimación superficie sembrada a nivel nacional [en línea]. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile. <<http://www.odepa.gob.cl/%20estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>>. [Consulta: 20 septiembre 2018].
31. Petersen, J.E. and G. Englund. 2005. Dimensional approaches to designing better experimental ecosystems: a practioners guide with examples. *Oecología* 145(2): 216-224.
32. Polomski, J. and N. Kuhn. 2002. Root research methods. pp: 295-391. In: Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi (Eds.). *Plant roots: the hidden half.* (3rd. ed.). Marcel Dekker Inc. New York, USA.
33. Prom-u-thai, C., B. Rekarsem, A. Yazici and I. Cakmak. 2012. Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175: 482-488.
34. Rawat, I., R.R. Kumar, T. Mutanda and F. Bux. 2011. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Appl. Energy* 88(10): 3411-3424.
35. Richards, R.A., G.J. Rebetzke, A.G. Condon and A.F. van Herwaarden. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42(1): 111-121.
36. Ristova, D., U. Rosas, G. Krouk, S. Ruffel, K.D. Birnabaum and G.M. Coruzzi. 2013. RootScape: a landmark-based system for rapid screening of root architecture in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 161: 1086-1096.
37. Seghatoleslami, M.J., G. Mousavi and H. Javadi. 2014. Chicory (*Cichorium intybus*) responses to nitrogen and plant density in Birjand, Iran. *Int. J. Biosci.* 4(9): 56-61 [en línea].
38. Sosa, T., J. Sánchez, E. Morales y F. Cruz. 2006. Interacción micorrizas arbusculares *Trichoderma harzianum* (*Moniliaceae*) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (*Poaceae*). *Acta Biol. Colomb.* 11(1): 43-54.
39. Traub, A.J. 2014. Achicoria: precursora de inulina [en línea]. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile. <<https://www.odepa.gob.cl/wp->

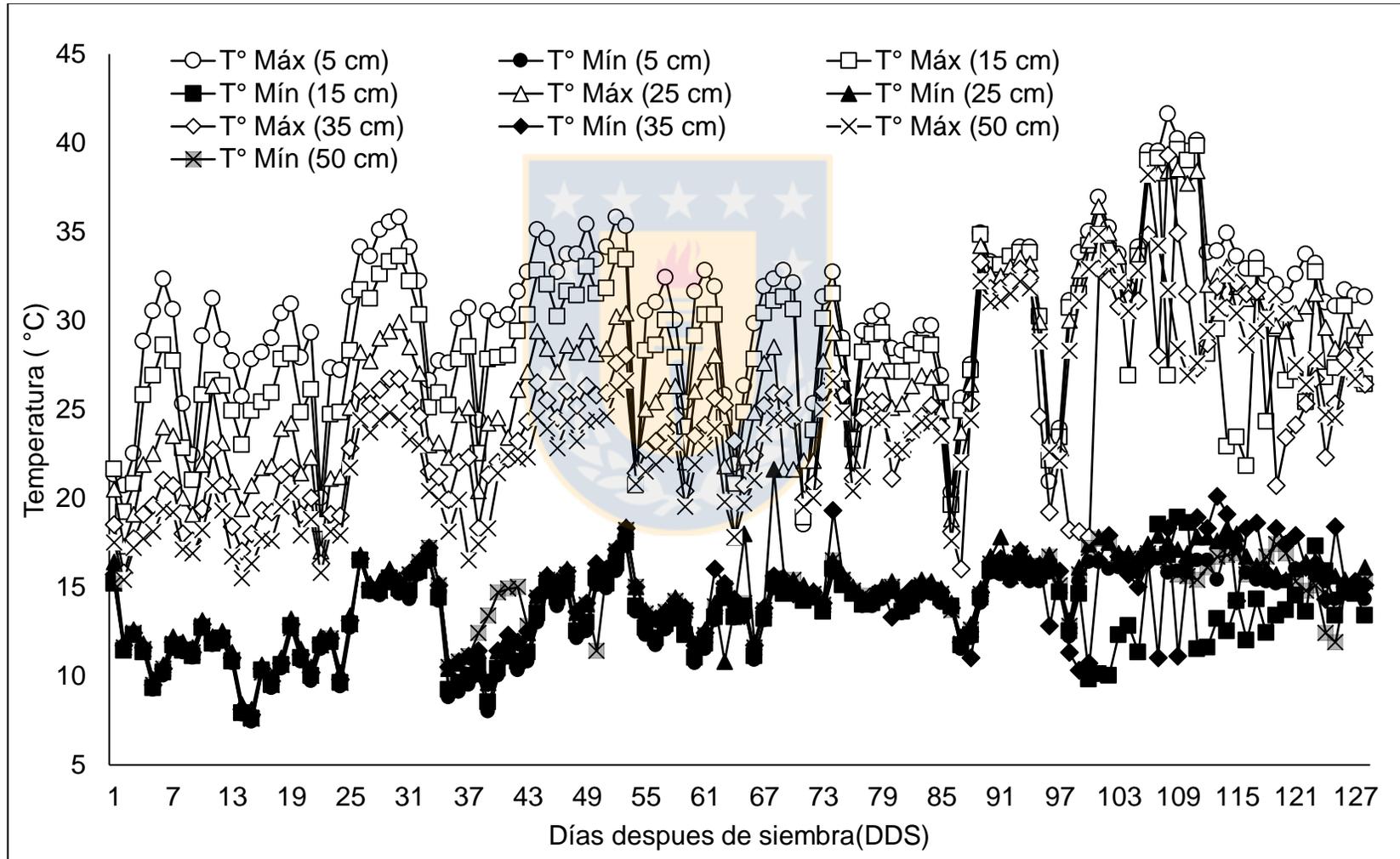
<content/uploads/2014/07/Inulina201407.pdf>>. [Consulta: 17 abril 2015].

40. Vienna Scientific Instruments. 201? Minirhizotron systems [en línea]. Vienna Scientific Instruments, Austria. <<https://www.vienna-scientific.com/products/minirhizotron-systems>>. [Consulta: 10 abril 2018].
41. Zhu, J., K.M. Brown and J.P. Lynch. 2010. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). *Plant Cell Environ.* 33(5): 740-749.
42. Zobel, R.W. 2008. Hardware and software efficacy in assessment of fine root diameter distributions. *Comput. Electron. Agric.* 60(2): 178-189 [en línea].

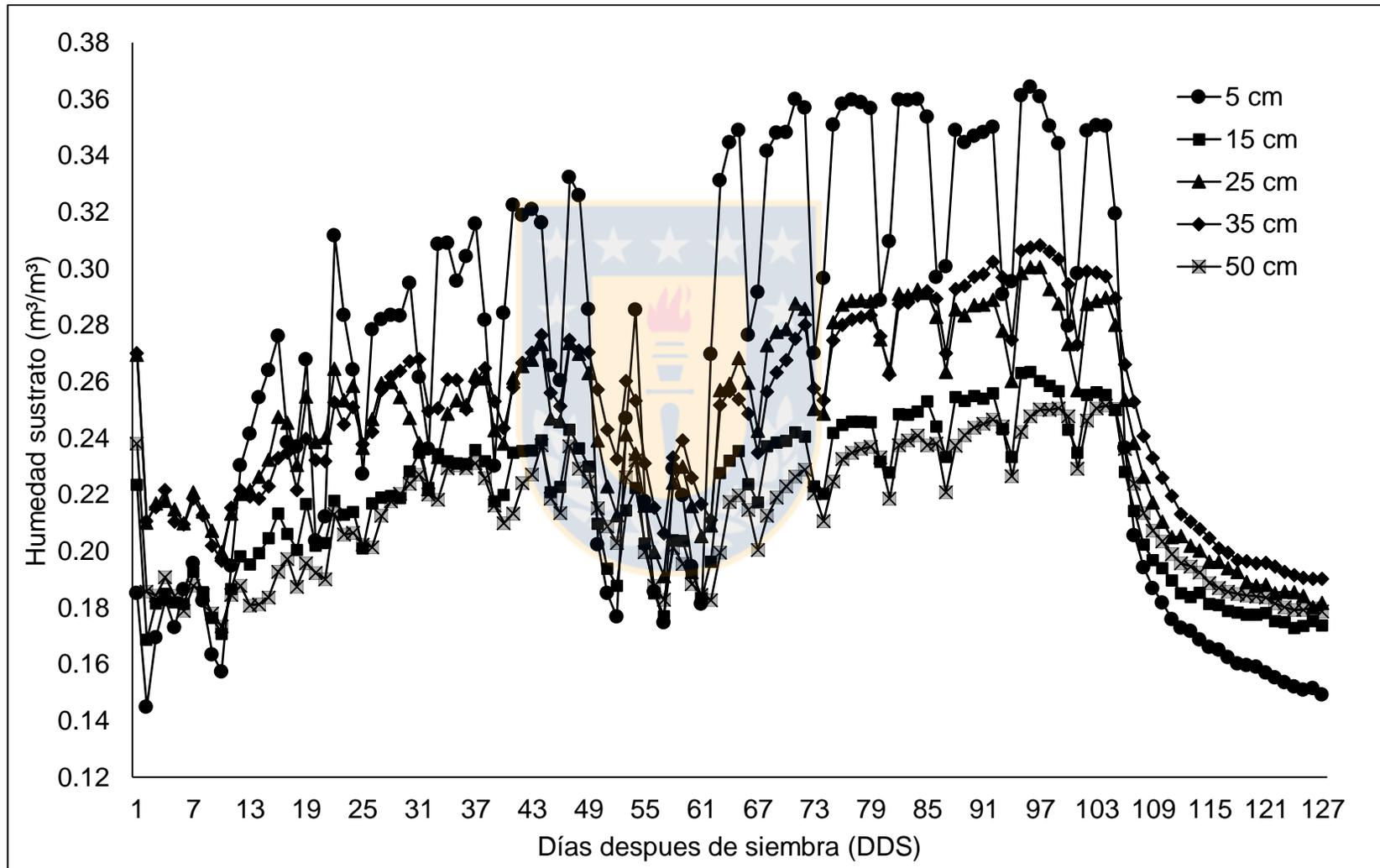


APÉNDICES

Apéndice 1. Variación de la temperatura (°C) del sustrato y su variación en el tiempo a diferentes profundidades (5, 15, 25, 35 y 50 cm) dentro de un mesocosmo.



Apéndice 2. Variación de la humedad (m^3/m^3) del sustrato y su variación en el tiempo a diferentes profundidades (5, 15, 25, 35 y 50 cm) dentro del mesocosmo.



ANEXOS

Anexo 1. Descripción de los productos comerciales.

| | | |
|-------------------|---|--|
| Nutri I | ZnO 8% p:v, Algas marinas y aminoácidos 50% v:v, L – triptófano (aminoácido) 4,05%, Auxinas 0,15%, Citoquininas 0,005%). | |
| Nutri Full | Algas marinas y aminoácidos 50% v:v, L – triptófano (aminoácido) 4,05%, Auxinas GA3 0,15%, Citoquininas 0,005%, Cu 2,75% p:v, Zinc 4,6% p:v, Magnesio 0,9% p:v, Extracto cítrico 15% p:v. | |
| Nubiotek ultra | Ultra HBK | Acondicionador de suelos desbloqueador de nutrientes: NO ₂ -N 619 mg L ⁻¹ N, NO ₃ -N 1905 mg L ⁻¹ N, PO ₄ -P 11183 mg L ⁻¹ P, SO ₄ ²⁻ 1464 mg L ⁻¹ , NH ₄ -N 7178 mg L ⁻¹ N, K ⁺ 140537 mg L ⁻¹ , Ca ²⁺ n.d. mg L ⁻¹ , Mg ²⁺ 230 mg L ⁻¹ . |
| | Ultra N | Crecimiento vegetativo: NO ₂ -N n.d. mg L ⁻¹ N, NO ₃ -N n.d. mg L ⁻¹ N, PO ₄ -P 1828 mg L ⁻¹ P, SO ₄ ²⁻ 929 mg L ⁻¹ , NH ₄ -N 55650 mg L ⁻¹ N, K ⁺ 3072 mg L ⁻¹ , Ca ²⁺ 758 mg L ⁻¹ , Mg ²⁺ 558 mg L ⁻¹ . |
| | Ultra NPK | Desarrollo vegetativo y enraizador: NO ₂ -N n.d. mg L ⁻¹ N, NO ₃ -N n.d. mg L ⁻¹ N, PO ₄ -P 26921 mg L ⁻¹ P, SO ₄ ²⁻ 1867 mg L ⁻¹ , NH ₄ -N 4204 mg L ⁻¹ N, K ⁺ 88071 mg L ⁻¹ , Ca ²⁺ n.d. mg L ⁻¹ , Mg ²⁺ 1045 mg L ⁻¹ . |
| Bionativa | Compuesta por cepas de <i>Trichodermas spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> y arcillas. | |

n. d. = no detectado