

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA  
INCORPORACION DE BIOSÓLIDOS SOBRE UNA  
PRADERA DE *Avena sativa* L., EN SUELOS  
DEGRADADOS POR LA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS.**

**CLAUDIO IGNACIO CORREA REYES**

**SANTIAGO, CHILE**

**2010**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA  
INCORPORACION DE BIOSÓLIDOS SOBRE UNA  
PRADERA DE *Avena sativa* L., EN SUELOS  
DEGRADADOS POR LA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS.**

**EVALUATION OF THE EFFECTS OF  
INCORPORATION OF BIOSOLIDS ON A PRAIRE OF  
*Avena sativa* L. IN SOILS DEGRADED BY  
EXTRACTION OF SAND**

**CLAUDIO IGNACIO CORREA REYES**

**SANTIAGO, CHILE**

**2010**

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO**

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA  
INCORPORACION DE BIOSÓLIDOS SOBRE UNA  
PRADERA DE *Avena sativa* L., EN SUELOS  
DEGRADADOS POR LA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS.**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**CLAUDIO IGNACIO CORREA REYES**

<b>Profesores Guías</b>	<b>Calificaciones</b>
Sra. Maria Teresa Varnero M. Químico Farmacéutico.	7,0
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sr. Juan Manuel Uribe M. Ingeniero Agrónomo.	7,0
Sr. Marcos Mora G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5

SANTIAGO, CHILE  
2010

**“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo donde quiera que vallas” Josué 1: 9.**

Estas palabras resonaron en mi cabeza muchas veces y por este impulso dedico este trabajo a Dios, a mi familia y amigos que siempre estuvieron conmigo

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que influyeron en mi formación tanto como estudiante como profesional, pero en gran medida agradezco a mis profesores guías, ya que ellos me apoyaron en todo momento y siempre estuvieron cuando los necesite, a la profesora María Teresa Varnero por facilitarme toda la elaboración del proyecto, y al profesor Oscar Seguel que mas que un profesor fue un amigo, el me acogió en el laboratorio sin importar que perteneciera a otra carrera, y por ultimo agradecer el gran apoyo que me brindaron los dos cuando mas lo necesite.

Agradezco a mis amigos que fueron un apoyo muy grande en los momentos difíciles, Valentín y José.

Y por ultimo pero no menos importante a mi familia que si no fuera por ellos no hubiese llegado tan lejos.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
Palabras clave.....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
Key words.....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
Antecedentes generales.....	3
Objetivo general.....	5
Objetivo específico.....	5
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	6
Lugar de estudio y materiales.....	6
Tratamiento y diseño del ensayo.....	6
Evaluaciones.....	8
Vegetación.....	8
Propiedades de suelo .....	9
Análisis estadístico.....	9
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	11
Caracterización de residuos.....	11
Evaluaciones de los tratamientos.....	13
Vegetación.....	13
Propiedades de suelo.....	20
<b>CONCLUSIONES</b> .....	25
<b>BIBLIOGRAFÍA CITADA</b> .....	26
<b>APÉNDICES</b> .....	29

## RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo rehabilitar un suelo degradado debido a la extracción de áridos, teniendo como hipótesis que la acción conjunta de residuos orgánicos en el sustrato edáfico aumenta la productividad de un suelo sometido a extracción del subsuelo. Por lo tanto, se planteó evaluar dos residuos orgánicos, uno correspondiente a la producción de aceite de oliva (alperujo) y el otro proveniente del procesamiento de algas para la extracción de fitovigorizantes. Se utilizaron distintas mezclas en volumen de estos residuos (0 – 25 – 50 – 75 – 100%) más un testigo. En un suelo areno francoso (Serie Rinconada de Lo Vial), se aplicaron dosis de 7,5 y 15 Mg ha<sup>-1</sup> de las mezclas en macetas de 1,8 L, estableciendo un cultivo de *Avena sativa* L. con un diseño factorial de 6 × 2 (mezclas y dosis respectivamente) con 4 repeticiones. Se evaluaron parámetros de la planta (cantidad de semillas germinadas, cantidad de macollas por maceta, producción de biomasa seca) y algunos parámetros físicos de suelo (retención de agua, densidad aparente y densidad real) trascurridos tres meses desde el acondicionamiento.

Los resultados obtenidos en suelos sometidos a extracción de áridos y acondicionados con materia orgánica, indican que mejora la retención de agua y disminuye la densidad aparente del suelo. La mayor producción de biomasa se obtiene con la aplicación de enmiendas con contenido de algas superior a 75% en el volumen, en cambio las mezclas con mayor cantidad de alperujo en su composición (mayor al 75% del volumen) se observa una producción de biomasa menor que la obtenida con el testigo sin enmienda, aunque sin diferencias estadísticas significativas con respecto a éste. La aplicación de residuos orgánicos no siempre resulta en un aumento de la productividad de los suelos degradados, dependiendo en gran medida de la estabilidad de los residuos y la dosis de aplicación.

## Palabras clave

Alperujo, residuo de algas, enmiendas orgánicas, producción de materia vegetal, propiedades físicas de suelo.

## ABSTRACT

With the aim to rehabilitate a degraded soil as a consequence of subsoil sand-strata extraction, two organic residues were proved as soil amendments: (i) alperujo, a residue from olive oil production (olive cake) and (ii) a residue from algae-based product used as plant growth stimulant. Different volumetric mixtures of these residues (0 - 25 - 50 - 75 - 100%) plus a control were prepared and applied to a loamy sand soil (Rinconada de Lo Vial Series) at doses of 7.5 and 15 Mg ha<sup>-1</sup>. Oats (*Avena sativa* L.) were sown in pots of 1.8 L filled with the soil and the amendments in a factorial design of 6 × 2 (mixtures and doses respectively) with 4 replicates. Both plant parameters (number of seed germinated, tiller number and total dry matter) and soil parameters (water retention, porosity, bulk and particle density) were measured after three months.

The results obtained in soils subjected to extraction of sand and amended with organic residues, indicate that the water retention increased and the bulk density decreased in the soil. Increased production of biomass is obtained with the application of amendments with high levels of algae in their composition (higher than 75% by volume), whereas in mixtures with high content of alperujo (over 75% of volume) a decreased biomass production was observed, lower than the obtained by the control without amendment, but with no significant statistical differences. The application of organic residues not always results in increased productivity of degraded soils, depending on residue stability and application doses.

### Key words

Alperujo, Algae-based residue, organic amendment, vegetal production, soil physical properties.

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes generales

El suelo es tridimensional y trifásico, es decir posee dimensiones (alto, largo y ancho) y las tres fases de la materia (sólido, líquido y gaseoso). La fase sólida del suelo está compuesta por componentes inorgánicos provenientes del material parental y componentes orgánicos provenientes de la flora y fauna existente. La parte sólida genera espacios que son parte del sistema poroso del suelo, los cuales son ocupados por componentes líquidos y gaseosos (Porta *et al.*, 1994). La importancia del recurso suelo radica en que este sirve de sustento físico para la vida, siendo de vital importancia en un gran número de actividades humanas, como la producción de alimentos y la construcción de viviendas.

Las actividades humanas generan a menudo la degradación de los recursos y ponen en riesgo la disponibilidad de alimento en el mundo; aproximadamente un 15% del total de la superficie de la tierra está afectada por algún tipo de degradación de suelo, de las cuales un 13% es leve a moderada y un 2% de carácter severa a muy severa (FAO, 2006). En Chile, alrededor del 50,39% del territorio nacional presenta algún grado de degradación y el 20,9% del total del territorio está afectado por degradación severa a muy severa (FAO, 2005). La degradación puede ser en tres medios, ya sea por medio físico, medio químico y medio biológico (Lal y Stewart, 1990, citado por Carrasco y Riquelme, 2003), siendo la erosión el proceso degradativo más importante, pero sin dejar de lado otros factores que degradan tanto o más el recurso, como son la contaminación de los suelos, la disminución de los suelos arables por expansión urbana, la degradación por quemadas descontroladas y la extracción de áridos (Pérez y González, 2001).

En el caso de la extracción de áridos, esta consiste en la remoción de una o varias capas de suelo hasta llegar al material árido (Hernández, 2008) el cual se extrae con diversos objetivos; este sistema es muy invasivo para el recurso, ya que destruye la estructura del suelo y su capacidad productiva, siendo necesario un impulso para su recuperación. Una vez explotado el sector de la extracción, este es rellenado con la capa de suelo inicialmente removida, la cual presenta una alteración en sus propiedades tanto físicas como biológicas, además de otros impactos ambientales asociados, como emisiones atmosféricas, residuos líquidos, residuos sólidos, ruidos y vibraciones (Bustamante, 2003).

Existen prácticas, las cuales pueden revertir o recuperar en parte el recurso ya degradado, como es el caso del encalado y la fertilización adecuada basada en los requerimientos de los cultivos, el establecimiento de cultivos adecuados para las condiciones ambientales del sector, el uso de abonos verdes o residuos, la rotación de cultivos y el uso adecuado de agroquímicos; éstos generan una mayor producción vegetal, lo que conlleva a un aumento de la cobertura del suelo, un aumento en la infiltración de agua y una disminución de la compactación de suelo (Pérez y González, 2001).

Específicamente, la aplicación de biosólidos mejora las condiciones físico-mecánicas del suelo, presentando efectos tales como la disminución de la densidad aparente y el aumento de la estabilidad de la estructura, mejorando la funcionalidad del suelo (Seguel *et al.*, 2003); además, presenta efectos en la nutrición vegetal al aumentar la retención y la disponibilidad de nutrientes (Sadzawka, 2006).

Uno de los aspectos relevantes en la recuperación de suelos sometidos a extracción de áridos es el uso de enmiendas orgánicas, ya que éstas favorecen la recuperación del suelo a tasas mayores que si se prescindiera de estas enmiendas (Macaya, 2008). Como alternativa, se puede utilizar residuos de la agro industria, lo que ayudaría a disminuir la presión de estos contaminantes sobre el medio ambiente.

Los productos residuales de la producción de aceite de oliva son el orujo y el alperujo, los cuales se diferencian en el método de extracción del aceite de oliva (Alburquerque *et al.*, 2003). Se sabe que el uso de compost de alperujo tiene los beneficios de la materia orgánica en general, pero además presenta una serie de efectos extras, como los relacionados con la disponibilidad de algunos elementos como fósforo y potasio; por otra parte, aumenta la disponibilidad de cobre y disminuye la disposición de calcio, magnesio y hierro (Alburquerque *et al.*, 2007). Aun así, existiendo tantos estudios sobre los posibles usos del alperujo, aún es muy poca la información que se tiene sobre el uso de este residuo en fresco.

La utilización de algas como enmienda orgánica ha sido común a lo largo de la historia de nuestro país, ya que muchas etnias sabían de sus beneficios asociados. Estas funcionan como regulador de crecimiento natural, otorgan resistencia a heladas y enfermedades, aumentan el pH del suelo, haciendo menos disponible elementos que en ciertas concentraciones llegan a ser fitotóxicos, como el aluminio; por último, aumentan notoriamente la capacidad de almacenamiento de agua (Torres, 2007).

Ambos materiales (alperujo y algas) se han probado por separado, por lo que su uso conjunto debiese provocar un sinergismo de sus beneficios sobre las propiedades físicas del suelo y el cómo afectan a la vegetación que sustenta, teniendo un impacto mayor en un suelo que ha sido sometido a extracción de áridos.

### **Objetivo general**

Rehabilitar un suelo degradado debido a la extracción de áridos mediante el uso de enmiendas orgánicas compuestas de residuos en base a algas y alperujo y un cultivo de *Avena sativa* L.

### **Objetivo específico**

Evaluar la mezcla de ambos materiales (residuo de algas y alperujo) con miras a la rehabilitación de un suelo degradado debido a la extracción de áridos.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Lugar de estudio y materiales

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la Comuna de la Pintana, Región Metropolitana (33°34' Sur, 70°37' Oeste) durante la temporada 2009-2010. El suelo usado pertenece a la mezcla del metro superficial de la Serie Rinconada de Lo Vial, posterior a la extracción de áridos realizada el año 2009 en la Estación Experimental German Greve Silva, ubicada en la Comuna de Maipú, en el sector de Rinconada. El suelo no disturbado corresponde a un Typic Xerochrept (Inceptisol), de clase textural franco arenosa y que descansa en un fragipán (CIREN, 1996).

Los estudios relacionados con la producción de materia vegetal se realizaron en el Laboratorio de Reciclaje Orgánico, mientras que los estudios correspondientes a las características físicas de los sustratos se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos, ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Como acondicionadores se utilizó alperujo y residuo de algas. El alperujo provino de la planta de extracción de aceite de oliva perteneciente a la agroindustria Soho S.A, en la Comuna de Paine, Región Metropolitana, donde se encontraba fresco y dispuesto en el campo. Por otra parte, el residuo de algas corresponde a la producción de biofertilizantes y de biocontroladores por parte de la empresa Biogram, ubicada en la Comuna de La Reina, Region Metropolitana.

### Tratamientos y diseño del ensayo

La unidad experimental consta de una maceta con una superficie de 113,04 cm<sup>2</sup> y una altura efectiva de 16,5 cm.

Se establecieron las mezclas de residuos en proporciones volumétricas diferentes (Cuadro 1) y en dos dosis de enmiendas, mezclándolas de manera manual antes de ser aplicadas a cada unidad de estudio.

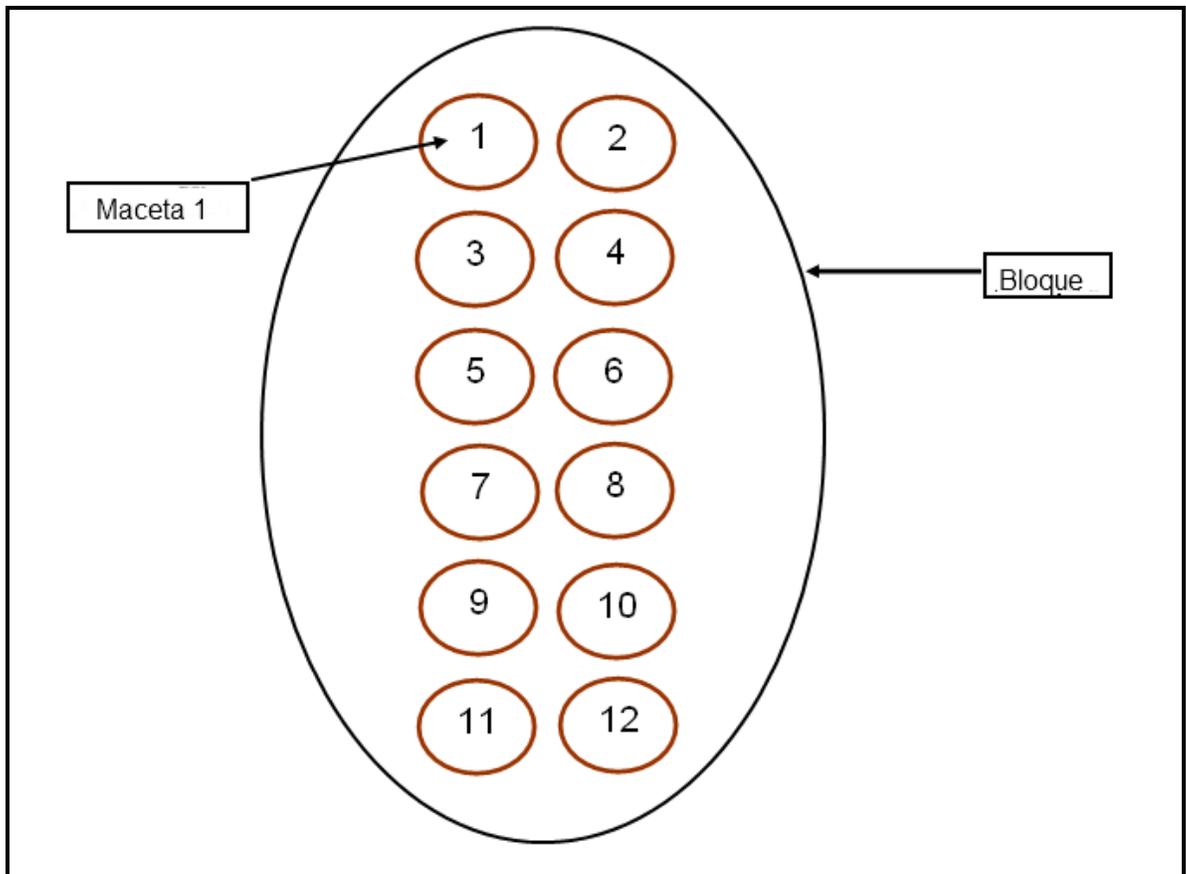
**Cuadro 1.** Mezclas volumétricas usadas en el estudio.

Residuo	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
Algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%

Se realizaron dos niveles de aplicación de cada mezcla volumétrica, cuyas dosis equivalentes fueron de 7,5 y 15 Mg ha<sup>-1</sup>. La incorporación de las mezclas al suelo se realizó de manera manual, incorporándolo con el sustrato, acondicionando la capa superficial de éste (entre los 0 y 10 cm de profundidad). Esto es equivalente a una aplicación en campo con incorporación con rastra.

El diseño factorial constó en contrastar 2 variables, siendo una la razón volumétrica en porcentaje de los residuos y la otra la dosis de aplicación en Mg ha<sup>-1</sup>.

El diseño experimental constó de un diseño factorial de 6 x 2 (mezclas y dosis) distribuidos en bloques al azar, con 4 repeticiones, donde cada bloque comprende 12 macetas de 12 cm de diámetro dispuestos en 2 hileras de 6 macetas (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema aproximado de un bloque.

Una vez montado el experimento, se sembró avena de manera manual. Se estableció una densidad poblacional de 3,5 millones de plantas por hectárea, siendo la densidad ideal para soiling o producción de materia vegetal con bajas pérdidas (Faiguenbaum, 2003), lo que equivale a 350 plantas por metro cuadrado. Se calculó la dosis de semillas tomando en

cuenta 2 parámetros, uno es el porcentaje de germinación (el cual fue calculado en laboratorio) y el otro el peso de la cantidad de semillas, siguiendo la metodología descrita por Faiguenbaum (2003), esto debido a que la dosis de semilla depende mucho de la calidad de ésta.

No se contempló la adición de fertilizante, ya que inmediatamente posterior a la extracción de áridos la permeabilidad del suelo es muy alta (Cárcamo *et al.*, 2007) por lo que existe riesgo de contaminación de aguas subsuperficiales.

El sistema de riego empleado en el experimento fue el riego por micro aspersión, el cual generó una distribución uniforme del agua en la maceta. Para esto se utilizó un aspersor de agua con carga de 5 litros, cuando hubo precipitaciones las macetas de dejaron sin riego, asumiendo que estas aportan el agua necesaria para la pradera.

El riego de las macetas siguió un solo criterio (ya que el estudio no contempló al riego como una variable a contrastar), tomando en cuenta los valores de evapotranspiración históricos de la zona y los coeficientes de cultivo para los estados fenológicos correspondientes de la avena para cada mes, regando día por medio (en el peor de los casos, cada 3 días) debido a que el suelo presenta texturas gruesas de baja retención de agua, además por las características de la avena al ser un cultivo de invierno. Una vez sembrada la avena se esperó un plazo de 3 meses para su posterior cosecha.

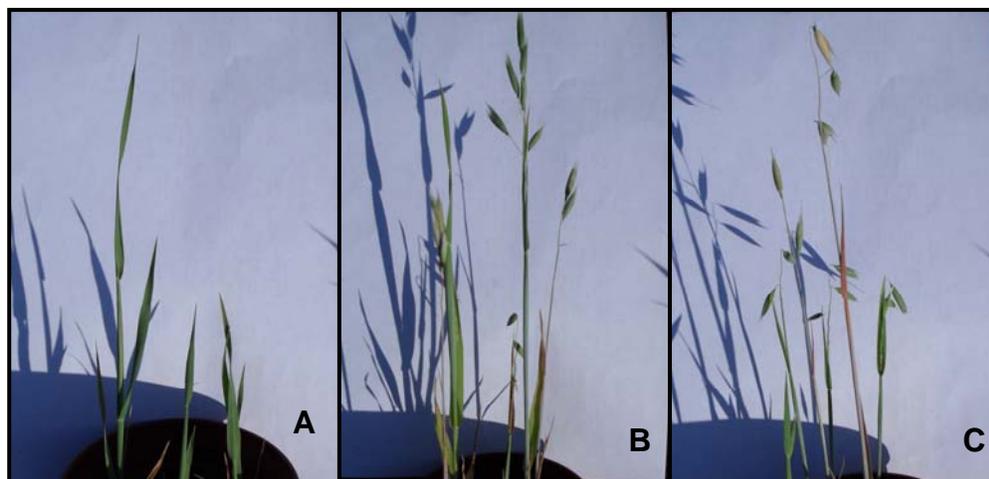
## Evaluaciones

### Vegetación

**Cantidad de semillas germinadas.** Para la cantidad de semillas germinadas se realizó un seguimiento a lo largo del cultivo de 5 puntos por macetero, en los cuales se sembró una sola semilla, estos puntos fueron marcados con mondadientes, al plazo de 15 días se procedió a contar la cantidad de puntos que presentaban plantas de avena en cada uno de los maceteros.

**Cantidad de macollas por macetero.** Se evaluó la cantidad de macollas por macetero, al momento de la cosecha, mediante un conteo del número de brotes existentes por macetero.

**Estado de madurez.** Esta variable está dada por la presencia o ausencia de panícula (Figura 2), lo cual se caracterizó en 3 niveles (maduras: macetas en que todas las plantas presentaban panículas; mezcla: macetas donde no todas presentaban panículas, es decir, con presencia de algunas panículas; e inmaduras: tallos verdes sin presencia de panículas). Esta medición se realizó al momento de la cosecha.



**Figura 2.** Niveles de caracterización de presencia de espigas representadas por nivel inmaduro (A), mezcla (B) y maduro (C).

**Materia vegetal aérea producida.** Se evaluó la producción de materia vegetal producida en cada maceta, secándola en estufa de ventilación forzada a 65°C hasta peso constante y luego pesándola para obtener la fitomasa aérea por cada macetero (Steubing *et al.*, 2002); cabe señalar que la materia vegetal fue secada antes de 12 horas después de su cosecha.

### Propiedades de suelo

Se caracterizaron las propiedades básicas del suelo y de cada una de las mezclas (densidad aparente, retención de agua a -33 y a -1500 kPa, densidad real y porosidad total) según las metodologías descritas por Dane y Topp (2002) para las condiciones iniciales (solo para el suelo y los residuos usados) y finales (para cada tratamiento) del ensayo para el rango de profundidad de 0 a 10 cm.

### Análisis estadístico

Se caracterizaron los parámetros descritos mediante estadígrafos descriptivos (media aritmética, desviación estándar y de ser necesario moda). Para determinar si existe variación entre los tratamientos se realizó un ANDEVA ( $\alpha \leq 0,05$ ) y en caso de ser necesario se realizó un test de rango múltiple (LSD,  $\alpha \leq 0,05$ ); en el caso en que los datos no siguieron una distribución normal se realizó el test de Kruskal – Wallis con un  $\alpha \leq 0,05$ .

Los análisis estadísticos correspondientes a estadísticas descriptivas fueron realizados mediante el programa Microsoft Excel, mientras que los análisis más complejos como comprobar las variaciones entre los tratamientos y los test de rangos múltiples se realizaron

mediante los programas estadísticos R 2.10.1(R Development Core Team, 2009), SigmaStat 2.0 y Minitab 13.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primero se presentarán los análisis de la caracterización de los residuos utilizados; a continuación, las evaluaciones realizadas a los tratamientos, correspondiente a los resultados obtenidos con el desarrollo de fitomasa, para finalizar con las características edáficas.

### Caracterización de residuos

Los residuos utilizados no tuvieron ningún tratamiento previo, por lo que su aplicación al suelo fue en condición fresca y sin estabilizar. La caracterización inicial se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Propiedades básicas medidas en residuos frescos.

Propiedad	Medida	Alperujo	Res. Alga
Contenido de agua (%)	Media	4,4	58,6
	Desviación estándar	0,677	5,286
$Da$ ( $Mg\ m^{-3}$ )	Media	0,495	0,435
	Desviación estándar	0,033	0,101
$Dr$ ( $Mg\ m^{-3}$ )	Media	1,380	1,654
	Desviación estándar	0,053	0,035

Da: densidad aparente; Dr: densidad real.

El contenido de agua de los residuos fue calculado en base a peso fresco, este presentó una gran variación, siendo en el caso del residuo de alga mas de la mitad de su peso en agua (58,6% ), mientras que en el alperujo el contenido de agua solo alcanza el 4,4% de su peso, tal como lo muestra el Cuadro 2. Esto implica que para el transporte desde el origen desde la planta de procesamiento, en el caso del residuo en base a algas, se moviliza mucha agua, lo que genera ineficiencias, siendo conveniente un acopio en cancha de presecado previo a su disposición final.

En cuanto a la densidad aparente ( $Da$ ), esta fue tomada tal cual sale el residuo de la planta de procesamiento (en el caso del residuo de algas, éste se disponía en panes compactados, con mucha humedad y almacenados en sacos a la intemperie, mientras que el alperujo se disponía en galletones frágiles dispuestos en campo). Los resultados fueron similares entre ambos materiales; si bien el residuo de alga presenta una densidad aparente menor, esta se encuentra con una gran variación entre las repeticiones, alcanzando algunas de ellas valores mayores que el alperujo, el que presenta una menor variación; Burés (1997) al describir diversos sustratos orgánicos, encontró valores de  $Da$  menores a  $0,5\ Mg\ m^{-3}$ .

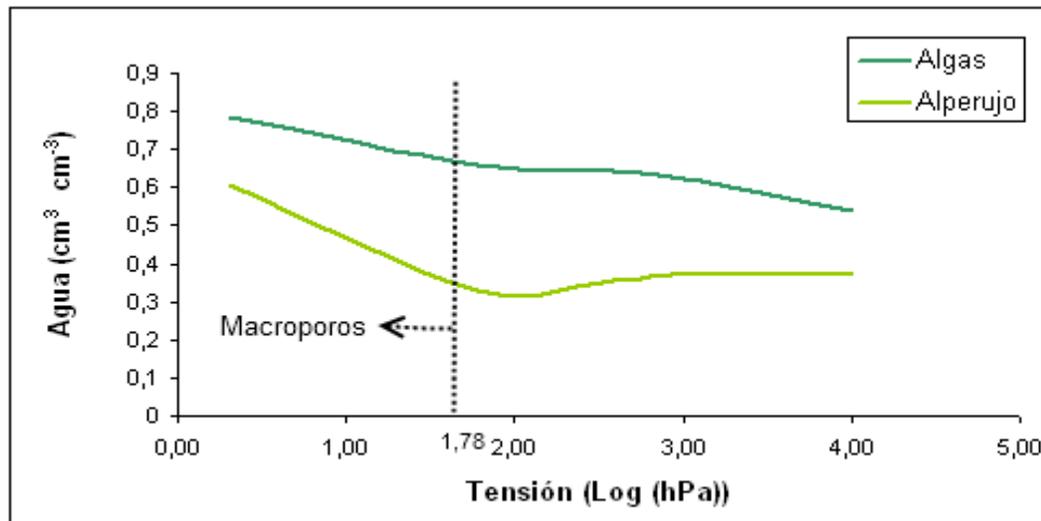
El alperujo presentó una menor densidad real que el residuo de algas, pero ambos materiales siguen estando dentro de los parámetros descritos por Das (1997), quien señala valores de  $D_r$  menores a 2 para suelos muy orgánicos, lo que es corroborado por Burés (1997) quien señala valores de  $D_r$  para materiales orgánicos concordantes a los resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los parámetros de densidad real ( $D_r$ ) y densidad aparente ( $D_a$ ), se puede calcular la porosidad total ( $P$ ) mediante la Ecuación 1:

$$P = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) \times 100[\%] \quad [1]$$

La porosidad total en el alperujo es de un 64,1%, mientras que para el residuo en base a algas la porosidad alcanza un 73,7%. Burés (1997) describió valores de porosidad para sustratos orgánicos que fluctuaban entre 79,89% y 94,44% para la corteza de pino y la turba respectivamente, los cuales fueron muestreados en una condición suelta, mientras que los residuos expuestos en este estudio fueron analizados en una condición pre-estructurada, con un secado que favoreció la contracción del material.

Además se realizó la curva característica de retención de agua para cada residuo, como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Curvas características de retención de agua para los residuos estudiados.

Si bien el residuo de algas retiene más agua, lo poco pronunciado de la curva acusa que este residuo posee una gran cantidad de porosidad fina, al contrario del alperujo, que presenta una elevada porosidad gruesa (retención a  $pF < 1,78$ ). Las pruebas fueron

realizadas con las muestras dispuestas en cilindros, por lo que ambos residuos, al no estar estabilizados, sufrieron contracción de la porosidad gruesa a medida que aumentó la tensión, lo que provocó que aumentara la retención de agua al aumentar la intensidad de secado (Hartge y Horn, 2009). Aún así, hasta tensiones de hasta -60 hPa (pF = 1,78) ambos materiales poseen un alto potencial de macroporos (> 50  $\mu\text{m}$ ), con valores de 12,7 y 27,9% para el alga y el alperujo respectivamente.

### Evaluaciones de los tratamientos

Se designaron letras para cada tratamiento, siendo T las mezclas volumétricas de residuos (alperujo y algas) y R la dosis de aplicación de los residuos.

#### Vegetación

**Cantidad de semillas germinadas.** Transcurridos 15 días después de la siembra, se procedió a contar los puntos en los cuales había plantas de avena, luego se procedió a analizar para ver si existe alguna diferencia por tratamiento (Cuadro 3). Al ser un ensayo controlado, en el cual la cantidad de semillas por unidad experimental fue muy baja, se pudo evaluar con precisión la cantidad de semillas y el efecto de la enmienda sobre la germinación.

**Cuadro 3.** Medias y desviaciones estándar de los resultados por tratamiento para la variable de cantidad de semillas germinadas.

		Cantidad de semillas germinadas (unidades)							
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5	R	
Alperujo		0%	100%	75%	50%	25%	0%		
Algas		0%	0%	25%	50%	75%	100%		
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	3	4	4	4	4	5	4
		Desviación	0	1	1	1	1	1	1
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	4	4	4	4	4	4	4
		Desviación	1	1	1	1	1	1	1
T		Media	4	4	4	4	4	5	<b>4</b>
		Desviación	1	1	1	1	1	1	<b>1</b>

El Cuadro 4 presenta el resultado del ANDEVA.

**Cuadro 4.** Tabla ANDEVA ( $\alpha \leq 0,05$ ) para la variable de cantidad de semillas germinadas.

ANDEVA Cantidad de semillas germinadas					
Variación	DF	SS	MS	F	P
Dosis	1	0	0	0	1
Mezcla	5	5,75	1,15	1,882	0,122
Interacción	5	1,50	0,30	0,49	0,78
Error	36	22	0,611		
Total	47	29,25	0,622		

Según el Cuadro 4, no existe variación significativa entre tratamientos de las dosis (P valor = 1), tampoco se aprecian diferencias significativas entre tratamientos de las mezclas (P valor = 0,122), por último en la interacción entre las dosis y las mezclas tampoco se encontró diferencias significativas (P valor = 0,78); en síntesis no existen variaciones en los datos para la variable de semillas germinadas.

Según la norma Chilena 2880.c2004 (INN, 2004) para que un compost no sea fitotóxico, deben prosperar el 80% o más de las plantas respecto al testigo. Según este parámetro de toxicidad, ninguno de los tratamientos es fitotóxico, debido a que prosperaron siempre el 100% de las plantas respecto al testigo. Los resultados son concordantes con los de Sheihing (2001), quien no encontró diferencias en la emergencia de plantas al aplicar algas al sustrato edáfico.

Albuquerque *et al.* (2006) utilizan un índice de germinación para describir la relación entre el compost de alperujo y los compuestos tóxicos que puedan contener algunos suelos, concluyendo que el compost de alperujo no es fitotóxico, incluso en algunos casos sirve para destoxificar suelos, con los que se puede inferir que el compost de alperujo tampoco genera disminución en la cantidad de semillas germinadas, resultados que son corroborados en este estudio usando materiales frescos no compostados

**Cantidad de macollas por macetero.** Una vez contado el número de brotes por maceta se realizó una tabulación de los datos, resultados que se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Promedios y desviaciones estándar de los resultados por tratamiento para la variable de macollas por macetero.

		Cantidad de macollas por macetero (unidades)							
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5		
	Alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%	R	
	Algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%		
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	0	0	0	1	1	2	1
		Desviación	0	1	1	1	1	2	1
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	0	1	0	0	1	2	1
		Desviación	0	2	0	1	1	2	1
T		Media	0	1	0	0	1	2	<b>1</b>
		Desviación	0	1	0	1	1	2	<b>1</b>

Los resultados no presentaron una distribución normal, uno de los supuestos descritos para realizar el análisis de comparación ANDEVA, por lo cual se recurrió a realizar la prueba estadística no paramétrica de análisis de Kruskal – Wallis, la cual sirve, al igual que el análisis ANDEVA, para probar las diferencias entre grupos, pero sin asumir supuestos.

Debido a que este método sólo sirve para un solo factor, se realizó 3 veces, una vez para los tratamientos del factor R (dosis), una para los tratamientos del factor T (mezclas) y una vez para los tratamientos de la interacción (R x T). Los resultados se presentan en los Cuadros 6, 7 y 8 respectivamente.

**Cuadro 6.** Test Kruskal – Wallis para los tratamientos del factor R (dosis).

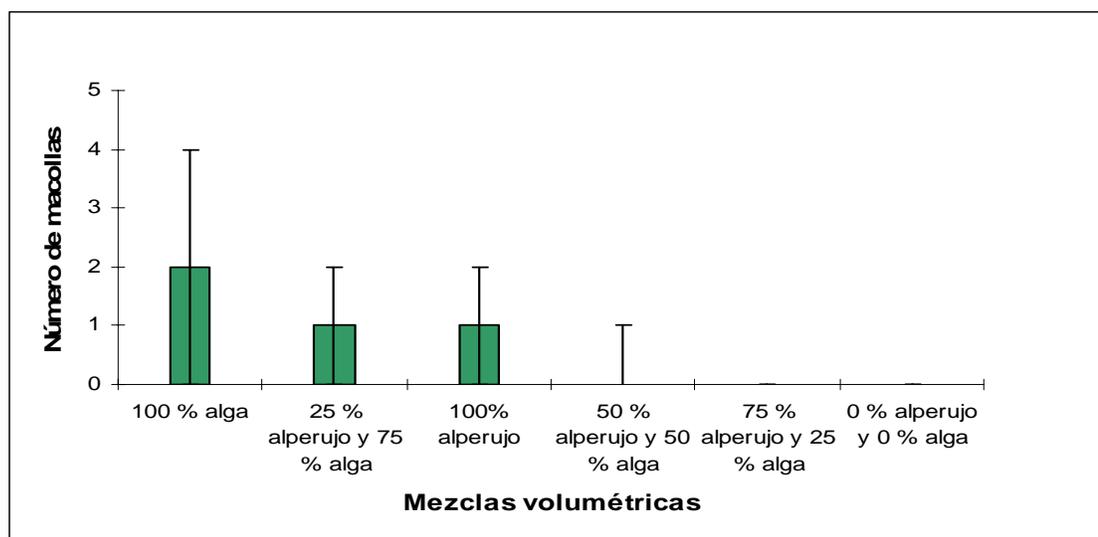
Dosis	N	Media	Prom. Ranking	Z
15 Mg ha <sup>-1</sup>	24	0,00E+00	26,2	0,82
7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	24	0,00E+00	22,8	-0,82
Total	48		24,5	

Para el factor correspondiente a la dosis de material aplicado (Cuadro 6), el valor del estadístico H fue de 0,97, luego se comparó con  $\chi^2_{\alpha, \alpha-1}$  para un grado de libertad (GL = 2 – 1), siendo 3,8415 el valor de  $\chi^2_{\alpha, \alpha-1}$  con lo cual no se rechaza la hipótesis y por lo tanto no se puede afirmar que existe alguna diferencia en el número de macollas para las dosis de materia orgánica que fueron aplicadas.

Para el factor correspondiente a las mezclas volumétricas (Cuadro 7) el valor del estadístico H fue de 10,17, al igual que con el factor de dosis se compara con el valor  $\chi^2_{\alpha, \alpha-1}$  correspondiente con 5 grados de libertad (GL = 6 - 1), siendo 11,0705 el valor de  $\chi^2_{\alpha, \alpha-1}$ , con lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula, sin poder afirmar que exista alguna diferencia entre los tratamientos de mezcla para la cantidad de macollas por maceta. Sin embargo, se marca una tendencia, la cual puede verse en la Figura 4.

**Cuadro 7.** Test Kruskal – Wallis para los tratamientos del factor T (mezclas).

Mezclas	N	Media	Prom. Ranking	Z
0% alperujo y 0% algas	8	0,00E+00	19	-1,22
100% algas	8	2,00E+00	34,4	2,19
100% alperujo	8	0,00E+00	22,6	-0,41
25% alperujo y 75% algas	8	5,00E-01	28	0,77
50% alperujo y 50% algas	8	0,00E+00	24	-0,11
75% alperujo y 25% algas	8	0,00E+00	19	-1,22
Total	48		24,5	

**Figura 4.** Medias aritméticas y desviaciones estándar para cada tratamiento del factor de mezcla.

Los tratamientos con mayor contenido de alga (sobre un 75%) presentaron una tendencia a generar mayor número de macollas, mientras que el testigo no presentó brotes secundarios.

En cuanto a la interacción dosis y mezclas, el Cuadro 8 presenta el respectivo test.

**Cuadro 8.** Test Kruskal – Wallis para los tratamientos de la interacción de los factores (mezclas y dosis).

Dosis	Mezcla	N	Media	Prom. Ranking	Z
15 Mg ha <sup>-1</sup>	0% alperujo y 0% algas	4	0,00E+00	21,5	-0,45
	100% alperujo	4	0,00E+00	21,5	-0,45
	75% alperujo y 25% algas	4	0,00E+00	21,5	-0,45
	50% alperujo y 50% algas	4	5,00E-01	26,5	0,3
	25% alperujo y 75% algas	4	5,00E-01	28	0,52
	100% algas	4	2,50E+00	38	2,01
7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	0% alperujo y 0% algas	4	0,00E+00	16,5	-1,19
	100% alperujo	4	0,00E+00	23,8	-0,11
	75% alperujo y 25% algas	4	0,00E+00	16,5	-1,19
	50% alperujo y 50% algas	4	0,00E+00	21,5	-0,45
	25% alperujo y 75% algas	4	5,00E-01	28	0,52
	100% algas	4	1,00E+00	30,8	0,93
Total		48		24,5	

En el caso de la interacción, el valor del estadístico H es de 12,10; al compararlo con el valor de  $\chi^2_{\alpha, \alpha-1}$  para 11 grados de libertad (GL = 12 – 1), el cual es de 19,6752, permite concluir que no existen diferencias entre los 12 tratamientos producto de la interacción de ambos factores, para la cantidad de macollas por macetero.

La producción de macollos está determinada por varios factores como la variedad, la fecha de siembra, la fertilidad del suelo y el abastecimiento hídrico. Faiguenbaum (2003) denota estas características relevantes para los cultivos de gramíneas, mientras que otros autores como Marchegiani (2002) agrega además las características de las estaciones, haciendo énfasis que en otoño y en primavera el número de macollas tiende a aumentar. Para el caso de estudio, cabe señalar que la avena se sembró en primavera, lo cual propicia el incremento de macollas por igual para cada maceta, dejando el factor climático de lado, y dando énfasis a los otros factores. La variedad de la avena y el abastecimiento hídrico tampoco tienen relevancia, ya que la variación es la misma y se aplicó un riego homogéneo para todos los maceteros, solo dejando lugar a la fertilidad del suelo como principal factor que induce la formación de macollas.

Caiozzi (1986) y Scheihing (2001) denotan que la adición de algas al sustrato edáfico aumenta la fertilidad de este, pero Caiozzi (1986) además agrega que hacen disponibles macroelementos como el fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas, los cuales tienen la capacidad de retener este elemento. Esto explica en parte el aumento de la cantidad de macollas en los maceteros con mayor porcentaje de algas.

**Estado.** Antes de la cosecha se observó la presencia o ausencia de espigas en las macetas (Cuadro 9), otorgándole un valor nominal según correspondiera a lo descrito en el capítulo de Materiales y método.

**Cuadro 9.** Modas de los resultados por tratamientos para la variable de estado.

		Estado						
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5	
	Alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%	R
	Algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%	
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Moda	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Moda	Maduro	Maduro	Mezcla	Maduro	Maduro	Maduro
	T	Moda	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	<b>Maduro</b>

Como se observa en el Cuadro 9, no se apreciaron diferencias entre los tratamientos con respecto a la presencia o ausencia de espigas, esto se podría deber a la estación del año en la cual se realizó el experimento (primavera), lo que favorece el desarrollo fenológico indistintamente de las condiciones ambientales generadas por el sustrato.

**Materia vegetal aérea producida.** Una vez cosechadas las plantas de avena (parte aérea), se procedió a su secado y a su posterior pesaje. Los resultados se presentan en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Medias y desviaciones estándar de los resultados por tratamiento para la variable de materia seca.

		Materia seca (g maceta <sup>-1</sup> )							
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5		
	Alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%	R	
	Algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%		
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	0,99	0,50	0,55	1,09	1,60	2,61	1,22
		Desviación	0,23	0,13	0,21	0,44	0,32	0,69	0,81
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	1,15	0,48	0,79	0,97	1,25	2,10	1,12
		Desviación	0,47	0,09	0,11	0,39	0,51	0,49	0,62
	T	Media	1,07	0,49	0,67	1,03	1,43	2,35	<b>1,17</b>
		Desviación	0,35	0,10	0,20	0,39	0,44	0,62	<b>0,71</b>

Los resultados expresados como rendimiento (masa seca por hectárea), varían entre 0,42 Mg ha<sup>-1</sup> para el menor resultado (tratamiento con 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> de 100% de alperujo) y 2,31 Mg ha<sup>-1</sup> para el mayor valor obtenido (tratamiento con 15 Mg ha<sup>-1</sup> de 100% de residuo de alga) alcanzando un promedio total de 1,035 Mg ha<sup>-1</sup>. Tomando en cuenta que los rendimientos para la variedad de *Avena strigosa* L. fluctúan entre los 2,5 y 3 Mg ha<sup>-1</sup> dependiendo del clima, del manejo y de otras condiciones (INFOR, 2010), se puede

concluir que el tratamiento con 15 Mg ha<sup>-1</sup> de la mezcla con 100% residuo de algas se acerca a los resultados esperados para un suelo no sometido a grandes procesos de degradación como en este caso, siendo esta última una alternativa para hacer productivos estos suelos post extracción de áridos.

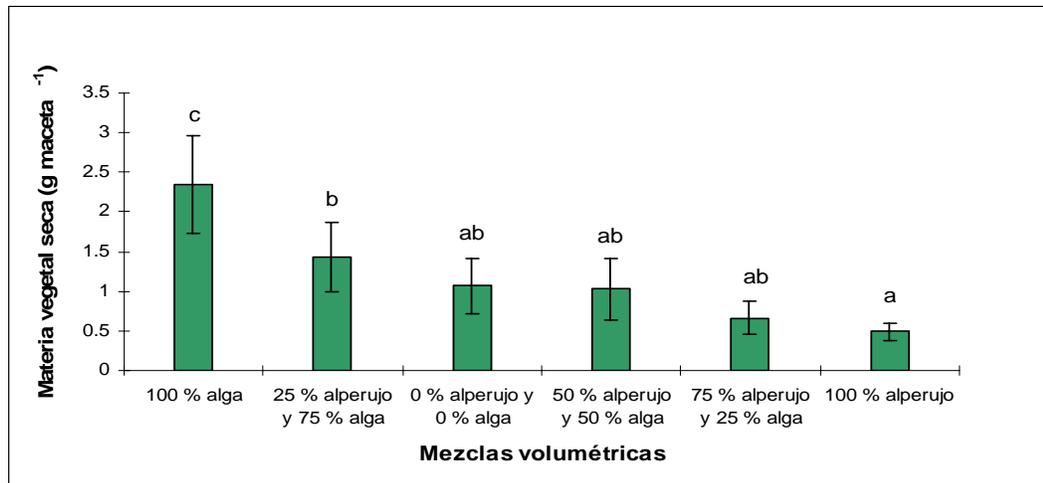
Los resultados del ANDEVA se presentan en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Tabla ANDEVA ( $\alpha \leq 0,05$ ) para la variable de materia seca.

ANDEVA Materia seca					
Variación	DF	SS	MS	F	P
Dosis	1	0,0999	0,0999	0,674	0,417
Mezcla	5	18,33	3,666	24,748	<0,001
Interacción	5	0,748	0,15	1,01	0,426
Error	36	5,333	0,148		
Total	47	24,512	0,522		

No se encontraron diferencias en los tratamientos a nivel de las dosis de aplicación de materia orgánica (P valor = 0,417), tampoco en la interacción de ambos tratamientos (dosis y mezclas) (P valor = 0,426), pero se encontró diferencias significativas a nivel de las mezclas (P valor < 0,001).

A raíz de la diferencia encontrada se procedió a realizar un test de rango múltiple para encontrar las diferencias en el tratamiento de las mezclas volumétricas de residuos; en este caso se realizó un test de Tukey, cuyos resultados se expresan en la Figura 5.



**Figura 5.** Medias, desviaciones estándar y diferencias según el test de Tukey (LSD,  $\alpha \leq 0,05$ ), para la variable de materia vegetal producida.

Los resultados en el test de Tukey demuestran que la aplicación del residuo de alga (T5) generó la mayor cantidad de materia vegetal, la que es distinta al resto de los tratamientos. El siguiente tratamiento en abundancia de residuo de alga (T4) también logró una alta producción, generando diferencias significativas con el tratamiento con la aplicación de 100% alperujo (T1); el alperujo acusa un efecto negativo sobre la materia seca, siendo no recomendable las mezclas de acondicionadores orgánicos con contenidos sobre el 50% de este material en su composición.

El tratamiento testigo presentó valores intermedios de productividad, aunque sin diferencias significativas con respecto a los tratamientos que presentaban aplicaciones de mezclas cuyo contenido de alperujo era mayor al 50% de su composición.

Según Scheihing (2001) la incorporación de algas produce efectos beneficiosos, propiciando el desarrollo de la materia vegetal, esto debido a lo expresado por Caiozzi (1986) cuyos resultados denotaron que los fertilizantes que fueron complementados con algas actúan como fertilizante de entrega rápida, propiciando el crecimiento en los primeros 2 meses de desarrollo.

Los resultados obtenidos en los tratamientos con mayor contenido de alperujo resultaron detrimentales en la producción de materia vegetal seca con respecto al tratamiento testigo, produciendo el tratamiento con mezcla de 100% alperujo 54,21% menos de materia vegetal seca respecto al tratamiento testigo, esto podría suponerse debido a que el material fue aplicado en fresco, sin pasar por procesos de estabilización, solo siendo sometido a un proceso de secado para tener una mayor precisión en el cálculo de la dosis.

Albuquerque *et al.* (2003) señalan que el alperujo contiene valores cercanos a los 14,2 g kg<sup>-1</sup> en peso seco en promedio de fenoles hidrosolubles, además de 426,3 g kg<sup>-1</sup> en base a peso seco de lignina; los compuestos fenólicos podrían generar diversos problemas en el crecimiento de las plantas de avena, esto explica en parte la fitotoxicidad moderada de este compuesto, siendo necesario someterlo a algún proceso de estabilización.

A raíz de los resultados esgrimidos, se deja como un factor a investigar el grado de fitotoxicidad que presenta el alperujo en fresco.

### **Propiedades de suelo**

**Densidad aparente.** La densidad aparente (Da) se calculó a través del método del cilindro, resultados que se presentan en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Promedios y desviación estándar de los resultados por tratamiento para la variable de densidad aparente.

			Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> )						
Tratamientos			T0	T1	T2	T3	T4	T5	R
Alperujo			0%	100%	75%	50%	25%	0%	
Algas			0%	0%	25%	50%	75%	100%	
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	1,311	1,276	1,285	1,231	1,253	1,276	1,272
		Desviación	0,022	0,030	0,062	0,021	0,053	0,045	0,045
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	1,308	1,324	1,273	1,262	1,265	1,266	1,283
		Desviación	0,080	0,026	0,071	0,048	0,054	0,107	0,066
T		Media	1,309	1,300	1,279	1,247	1,259	1,271	<b>1,278</b>
		Desviación	0,054	0,036	0,062	0,038	0,050	0,076	<b>0,056</b>

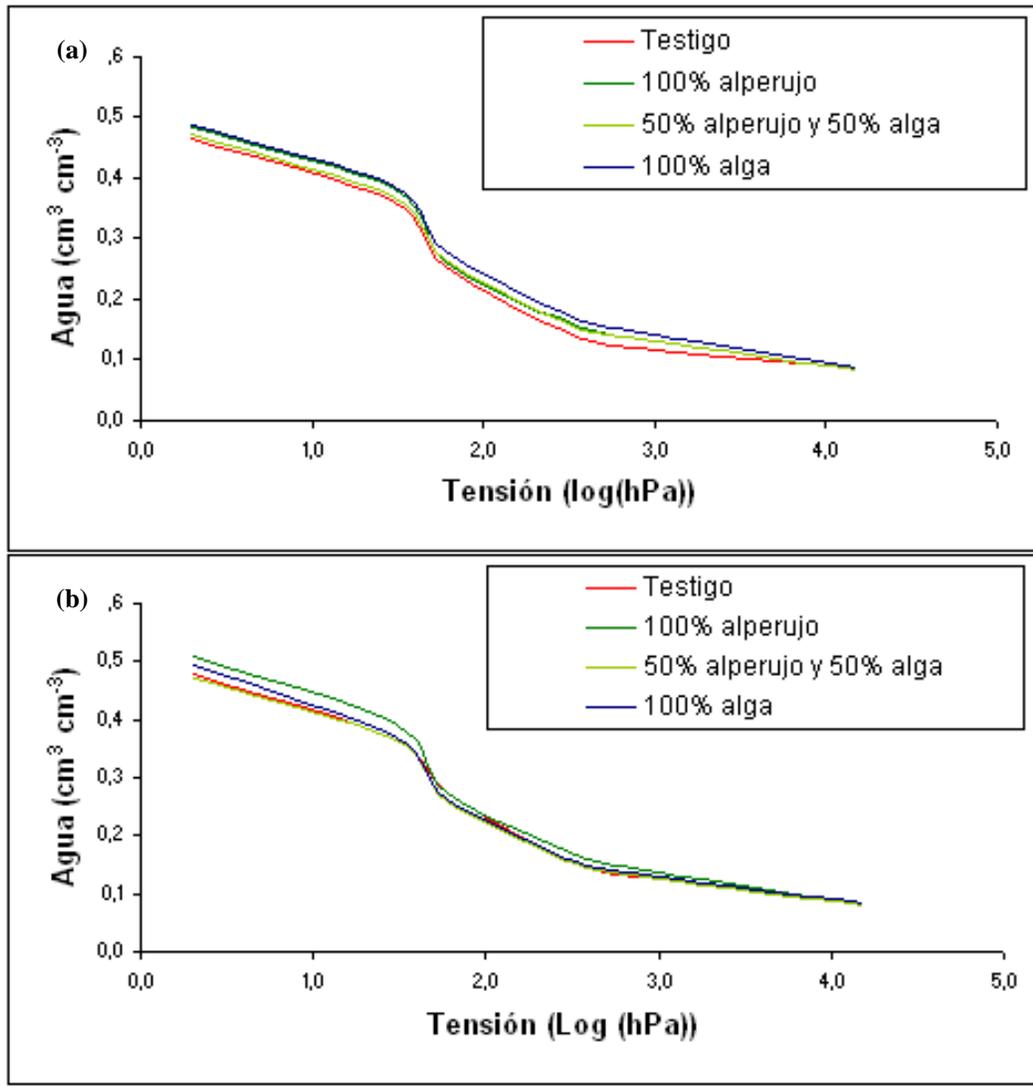
La aplicación de materia orgánica, en cualquiera de las mezclas de alperujo y residuo de algas, disminuye la Da, especialmente en dosis altas (15 Mg ha<sup>-1</sup>) lo que indica que aumenta el porcentaje de poros en el volumen de suelo de todos los tratamientos con respecto al testigo.

Con respecto a la composición de las enmiendas aplicadas, la mezcla con 50% de alperujo y de 50% residuo de algas presentó una mayor disminución con respecto a los demás tratamientos, indistintamente de las dosis, esto se explica por la mezcla mas heterogénea de tamaño de partículas que generan un empaquetamiento menos ordenado (Burés, 1997) disminuyendo la Da. Sin embargo del análisis de varianza se concluyó que no existían diferencias significativas.

**Densidad real.** Los valores de densidad real no mostraron diferencias significativas ni tampoco tendencias de cambios aparentes según los tratamientos, otorgando una densidad real promedio de 2,59 Mg m<sup>-3</sup>.

Das (1997) determina valores de densidad real para suelos minerales de clase textural arenosa entre 2,63 y 2,67 Mg m<sup>-3</sup>. Los menores valores obtenidos en este estudio son resultado de la influencia de la materia orgánica, pero aun así no alcanza a tener diferencias significativas entre los tratamientos, lo que se podría deber a que las dosis no son suficientes para producir cambios detectables por la metodología utilizada (Seguel *et al.*, 2003).

**Retención de agua.** Para la retención de agua, se muestra en la Figura 6, a modo de ejemplo, los tratamientos extremos e intermedios: Testigo; 100% alperujo; 50% alperujo y 50% residuo de algas y 100% residuo de algas.



**Figura 6.** Curva de retención de agua para los tratamientos con dosis de (a) 15 Mg ha<sup>-1</sup> y (b) 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> de enmienda orgánica.

Como era de esperar, las aplicaciones de enmiendas orgánicas aumentan la retención de agua con respecto al testigo, efecto que es más claro con altas dosis de enmiendas (15 Mg ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, la mezcla de materiales de distinta distribución y tamaño de partículas podría generar un relleno de los poros gruesos, disminuyendo la retención de agua en bajas dosis, como ocurre con el tratamiento de 50% de alperujo y 50% alga en la dosis de 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 6 b).

Al igual que los tratamientos con 15 Mg ha<sup>-1</sup>, el acondicionamiento con dosis menores de materia orgánica mejora la retención de agua en el suelo, pero con menores diferencias con respecto al testigo y con tensiones menores a 60 hPa (tensión 1,78).

A partir de las curvas de retención de agua de la Figura 6 se puede determinar la distribución de macroporos, expresados en el Cuadro 13.

**Cuadro 13.** Distribución de la porosidad por tratamiento.

Tratamientos			T0	T1	T2	T3	T4	T5	
Alperujo			0%	100%	75%	50%	25%	0%	R
Algas			0%	0%	25%	50%	75%	100%	
poros de drenaje rápido (> 50 µm) [%]									
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	20,9%	22,1%	21,7%	21,0%	20,4%	21,0%	21,2%
		Desviación	5,5%	3,6%	2,4%	4,6%	2,8%	4,8%	3,7%
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	20,7%	23,3%	22,3%	21,2%	25,6%	23,0%	22,7%
		Desviación	8,1%	1,7%	3,3%	3,5%	1,9%	2,5%	4,0%
T		Media	20,8%	22,7%	22,0%	21,1%	23,0%	22,0%	<b>21,9%</b>
		Desviación	6,4%	2,7%	2,7%	3,8%	3,6%	3,7%	<b>3,9%</b>
Poros de drenaje lento (10 - 50 µm) [%]									
R1	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	11,2%	10,4%	10,2%	10,7%	10,5%	10,7%	10,6%
		Desviación	1,1%	0,7%	0,8%	0,7%	1,4%	0,7%	0,9%
R2	7,5 Mg ha <sup>-1</sup>	Media	12,1%	10,9%	10,5%	10,6%	10,0%	10,7%	10,8%
		Desviación	3,1%	0,5%	0,8%	0,7%	0,4%	0,5%	1,4%
T		Media	11,7%	10,6%	10,4%	10,6%	10,3%	10,7%	<b>10,7%</b>
		Desviación	2,2%	0,6%	0,8%	0,7%	1,0%	0,6%	<b>1,2%</b>

En los resultados obtenidos de los porcentajes ocupados para las distintas porosidades (Cuadro 13), no se apreciaron diferencias significativas entre los tratamientos, debido a que las desviaciones estándar hacen que dichos valores se traslapen, no obstante se puede distinguir un aumento de la porosidad de drenaje rápido al disminuir la dosis de materia orgánica de 15 a 7,5 ton ha<sup>-1</sup>; estos resultados también puede deberse a que el agua retenida por el sustrato sea retenida en gran porcentaje por las células muertas de los compuestos orgánicos, que representarían una porosidad fina, siendo mayor en tratamientos con dosis mayores.

La porosidad mayor a 50 µm alcanza un 21,9% en promedio; Pagliai y Vignozzi (2002) describen diversos porcentajes de porosidad, definiendo porcentajes de poros gruesos (>50 µm) de entre 12 y 25% para suelos porosos, categorizando el sustrato estudiado en este rango.

Se observa una disminución de la porosidad en los tratamientos con mayor dosis de enmienda orgánica, esto se debe a lo que Burés (1997) llama empaquetamiento, que consiste en un reordenamiento de las partículas debido a varios factores, en este caso en particular, al manejo y al riego aplicado, siendo principalmente empaquetamiento por deposición.

En definitiva, aunque sin diferencias significativas, el uso de las mezclas de residuos en el suelo degradado por extracción de áridos, favorece la recuperación física de éste, sin generar efectos adversos en el cultivo cuando en la composición de la mezcla predomina el contenido de residuo de alga. Es necesario estudiar la productividad del sistema en el largo plazo, en especial si se aplican enmiendas en forma sistemática.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los ensayos de corto plazo permiten concluir que:

La rehabilitación de suelos sometidos a extracción de áridos mediante la incorporación de materia orgánica sin estabilizar, puede ser utilizada siempre y cuando se considere un periodo de estabilización “in situ”, con lo cual, se permitiría una disminución de la concentración de metabolitos fitotóxicos en el caso del alperujo.

La incorporación de residuo de algas aumenta la productividad de la pradera en suelos degradados por extracción de áridos, observándose un aumento tanto en el número de macollas que genera cada planta, como en la producción de materia seca que produce. Por su parte, la aplicación de alperujo tendría efectos detrimentales sobre el desarrollo vegetativo, no logrando diferenciarse del testigo sin enmienda, presentando una producción de biomasa inferior a la del suelo testigo.

La incorporación de materia orgánica en el suelo, ya sea proveniente de residuos en base a algas o proveniente de alperujo, mejora la retención de agua y disminuye la densidad aparente, aunque las dosis utilizadas en este estudio no fueron suficientes para generar diferencias significativas entre los tratamientos.

**BIBLIOGRAFÍA CITADA**

Albuquerque, J., González, J., García, D. and Cegarra, J. 2003. Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*. 91: 195 – 200.

Albuquerque, J., González, J., García, D. and Cegarra, J. 2006. Measuring detoxification and maturity in compost made from “alperujo”, the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*. 64(3): 470 – 477.

Albuquerque, J., González, J., García, D. and Cegarra, J. 2007. Effects of a compost made from a solid by-product (“alperujo”) of a two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrients content ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Bioresource Technology*. 98: 940 – 945.

Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 51 p.

Bustamante, R. 2003. Análisis de la extracción de áridos en Chile. Memoria de Título, Ing. Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 99 p.

Caiozzi, M. 1986. Uso de algas marinas como fertilizantes en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín* N° 6: 91 – 117.

Cárcamo, I., Seguel, O., Benavides, C., Casanova, M., Homer, I., López, X. y Haberland, J. 2007. Pre-Compactación como herramienta para mejorar la relación raíz/ agua/ aire en habilitación de suelos sometidos a extracción de áridos. *Avances en Ingeniería Rural. CADIR 2007*: 232 – 240.

Carrasco, J. y Riquelme, J. 2003. *Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas*. Centro de Investigaciones Agropecuarias, INIA. *Boletín* N° 103. Rancagua, Chile. 132 p.

CIREN. 1996. *Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripción de suelos, materiales y símbolos*. Publicación N° 115. 425 p.

Dane, J. and Topp, C. 2002. *Methods of soil analysis. Part 4 Physical Methods*. Soil Science Society of America Book Series N°5. Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.

Das, B. M. 1997. *Soil Mechanics Laboratory Manual: Fifth Edition*. Engineering Press. Austin, Texas, USA. 278 p.

Faiguenbaum, H. 2003. *Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile*. Vivaldi y Asociados. Santiago, Chile. 760 p.

- FAO. 2005. National soil degradation maps. <http://www.fao.org/landandwater/agll/glasod/glasodmaps.jsp>. Consultado el 30 de julio 2008.
- FAO. 2006. Degradación de suelo debido a actividades humanas. <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612sMap12-s.pdf>. Consultado el 1 de agosto de 2008.
- Hartge, K. und R. Horn. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis, Messmethoden, Auswertung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany. 178 p.
- Hernández, C. 2008. Uso de un acondicionador orgánico en la rehabilitación de un suelo sometido a extracción de áridos. Memoria de título, Ing. Agr. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 54 p.
- Instituto Forestal de Chile (INFOR). 2010. Praderas suplementarias para los secanos de la precordillera andina. [http://www.gestionforestal.cl:81/pt\\_02/agroforesteria/agroforesteria%20precordillera/txt/praderas%20suplementarias.htm](http://www.gestionforestal.cl:81/pt_02/agroforesteria/agroforesteria%20precordillera/txt/praderas%20suplementarias.htm). Consultado el 29 de Mayo 2010.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2004. Compost. Clasificación y requisitos (NCh 2880.c2004). 19 p.
- Macaya, C. 2008. Evaluación de la rehabilitación de suelos de aptitud agrícola de la Región Metropolitana sometidos a extracción de áridos. Memoria de Título, Ing. Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 165 p.
- Marchegiani, G. 2002. Producción bobina de carne: Morfofisiología de las forrajeras. [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20Artificiales/55-morfofisiologia\\_forrajeras.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20Artificiales/55-morfofisiologia_forrajeras.htm). Consultado el 15 de abril de 2010.
- Pagliai, M. and Vignozzi, N. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. pp: 71-82. In: Pagliai, M. and Jones, R. (eds.) Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. IUSS. Advances in Geology 35. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany.
- Pérez, C. y González, J. 2001. Diagnóstico sobre el estado de la degradación del recurso suelo en el país. Centro de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Boletín N° 15. Chillán, Chile. 196 p.
- Porta, J., López-Acebedo, M. y Roquero, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid, España. 807 p.
- R Development Core Team. 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org>.

Sadzawka, A. 2006. Propiedades físico-químicas de los suelos. II: Adsorción e intercambio iónico. pp: 129 – 157. En: Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Luzio, W. y Casanova, M. (eds.). Santiago, Chile. 393 p.

Scheihing, P. 2001. Efecto de la incorporación de las algas *Durvillaea antarctica* (Cham.) Hariot y *Macrocystis pyrifera* (Linn.) C. Ag. Sobre la productividad del sustrato edáfico. Tesis de Título, Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile. 115 p.

Seguel, O., García de Cortázar, V. y Casanova, M. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. Agricultura Técnica. 63 (3): 287 – 297.

Steubing, L., Godoy, R. y Alberdi, M. 2002. Métodos de Ecología Vegetal. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 345 p.

Torres, P. 2007. Monografía de las algas marinas y su uso en el suelo. Memoria de Título, Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 68 p.

## APÉNDICES

**Apéndice 1:** Resultados correspondientes a la variable de semillas germinadas.

		Cantidad de semillas germinadas (unidades)					
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5
	alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
	algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	3	3	4	3	3	5
		3	5	5	3	4	4
		3	4	3	4	4	5
		4	4	4	5	3	5
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	4	3	4	4	4	5
		3	4	4	4	2	3
		3	4	4	3	5	4
		5	4	5	3	4	5

**Apéndice 2:** Datos correspondientes la variable de macollas por macetero.

		Cantidad de macollas por macetero (unidades)					
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5
	alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
	algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	0	0	0	1	0	0
		0	0	1	0	0	3
		0	1	0	0	2	2
		1	0	0	1	1	4
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	2
		0	0	0	0	0	4
		0	3	0	1	2	0

**Apéndice 3:** Resultados correspondientes a la variable de estado.

Tratamientos		Estado					
		T0	T1	T2	T3	T4	T5
alperujo		0%	100%	75%	50%	25%	0%
algas		0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	Maduro	Mezcla	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro
		Maduro	Mezcla	Maduro	Maduro	Mezcla	Maduro
		Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Mezcla
		Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Mezcla	Mezcla
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	Mezcla	Maduro	Mezcla	Maduro	Mezcla	Maduro
		Mezcla	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro	Maduro
		Maduro	Maduro	Mezcla	Maduro	Maduro	Maduro
		Maduro	Maduro	Mezcla	Maduro	Mezcla	Maduro

**Apéndice 4:** Resultados correspondientes a la variable de materia seca de la fracción aérea de la planta de avena.

Tratamientos		Materia seca aérea (g)					
		T0	T1	T2	T3	T4	T5
alperujo		0%	100%	75%	50%	25%	0%
algas		0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	1,07	0,36	0,39	0,94	1,58	2,75
		1,19	0,59	0,53	1,19	2,06	2,89
		0,65	0,41	0,42	0,59	1,39	1,61
		1,05	0,63	0,84	1,64	1,39	3,18
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	1,41	0,42	0,77	1,20	0,87	1,67
		0,73	0,45	0,66	1,09	1,70	2,03
		0,78	0,44	0,93	0,39	1,67	1,88
		1,67	0,61	0,78	1,18	0,75	2,80

**Apéndice 5:** Resultados correspondientes a la variable densidad aparente.

		Densidad aparente					
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5
	alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
	algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	1,334	1,277	1,262	1,231	1,322	1,250
		1,312	1,246	1,373	1,202	1,226	1,292
		1,316	1,265	1,277	1,246	1,264	1,332
		1,281	1,317	1,227	1,246	1,200	1,231
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	1,417	1,341	1,380	1,223	1,235	1,194
		1,318	1,295	1,233	1,321	1,300	1,372
		1,248	1,351	1,236	1,224	1,320	1,156
		1,249	1,310	1,244	1,282	1,205	1,343

**Apéndice 6:** Resultados correspondientes a la variable porosidad de drenaje rápido.

		Porosidad de drenaje rápido (%)					
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5
	alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
	algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	12,7%	17,0%	18,7%	14,4%	16,7%	14,9%
		23,3%	23,0%	22,5%	22,2%	21,5%	19,5%
		25,1%	22,8%	21,4%	22,1%	20,1%	25,6%
		22,3%	25,7%	24,4%	25,1%	23,4%	23,8%
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	8,8%	21,2%	17,8%	17,3%	24,0%	21,1%
		27,2%	23,3%	23,0%	19,2%	26,4%	20,9%
		23,3%	25,5%	22,5%	24,0%	24,2%	26,3%
		23,4%	23,4%	25,8%	24,3%	27,9%	23,8%

**Apéndice 7:** Resultados correspondiente a la variable de porosidad de drenaje lento.

		Porosidad de drenaje lento (%)					
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5
	alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
	algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	12,7%	11,3%	10,8%	11,4%	11,6%	11,1%
		10,2%	9,9%	10,6%	9,8%	9,7%	10,1%
		11,2%	9,9%	10,5%	10,7%	11,8%	11,6%
		10,8%	10,2%	9,1%	11,0%	9,1%	10,1%
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	16,7%	11,0%	11,6%	11,3%	10,2%	10,0%
		11,2%	10,2%	9,7%	11,0%	10,4%	11,2%
		9,9%	11,0%	10,2%	9,7%	10,1%	10,9%
		10,7%	11,5%	10,4%	10,4%	9,4%	10,6%

**Apéndice 8:** Resultados correspondiente a la variable de poros de drenaje total.

		Porosidad de drenaje total (%)					
Tratamientos		T0	T1	T2	T3	T4	T5
	alperujo	0%	100%	75%	50%	25%	0%
	algas	0%	0%	25%	50%	75%	100%
R1	15 Mg Ha <sup>-1</sup>	25,5%	28,4%	29,4%	25,8%	28,3%	26,0%
		33,5%	32,9%	33,1%	32,0%	31,2%	29,6%
		36,3%	32,7%	31,9%	32,8%	31,9%	37,2%
		33,1%	35,8%	33,5%	36,1%	32,5%	33,9%
R2	7,5 Mg Ha <sup>-1</sup>	25,5%	32,2%	29,4%	28,6%	34,2%	31,1%
		38,5%	33,4%	32,6%	30,3%	36,8%	32,1%
		33,2%	36,5%	32,6%	33,7%	34,3%	37,2%
		34,1%	34,9%	36,2%	34,6%	37,4%	34,5%